

تأليف الدكتور

رفعت رشاد

الأقمار الصناعية والملاحة الإلكترونية
Satellites and Electronic Navigation

تأليف

د. رفعت رشاد

التوزيع

منشأة المعارف

جلال حزي وشركاه

الإسكندرية

تقديم

تقدمت الألفية الثالثة بتكنولوجيات تطورت كثيراً في الحقبة الأخيرة من الألفية الثانية ولدينا معطيات وثوابت قوية ترسم لنا معالم الطريق الذى يسلكه الإنسان في مجال تكنولوجيا المعلومات وتحديد الموقع وعالم الاتصالات.

وعلوم الملاحة شأنها شأن باقى العلوم التطبيقية التى تأثرت من المعطيات العلمية وأثرت عليها لتزيد من إبداعاتها وتوسيع دائرة استخداماتها لتشمل جوانب عديدة من الحياة العملية. وإذ نذكر فنون الملاحة السائدة في أوائل القرن الذى ودعناه نجدها قاصرة على الملاحة البحرية في تحديد المكان والانتقال إلى مكان آخر بسلامة... وسرعان ما انتقلت الملاحة إلى الطيران الذى تأثر بالملاحة البحرية وأقام لنفسه قصوراً في تكنولوجيا الملاحة الجوية ثم بزغ عصر الفضاء والذى واكبته ملاحة الفضاء والتنقل بين كواكب المجموعة الشمسية ثم عادت بنا الملاحة إلى الأرض وعرفنا وشاهدنا الملاحة في المدن والتنقل من شارع لآخر ومن نقطة إلى نقطة بنظم دقيقة أثبتت جدواها واستخدمت نظم تحديد الموقع في أعمال المساحة لتحديد موقع محطات الإسناد بدقة لم تكن لنحلم بها منذ سنوات قليلة وأصبح تحديد الموقع بدقة سمة كل الأعمال الديناميكية منها أو الاستاتيكية في استخراج البترول وتحديد إحداثيات المنشآت المعمارية وتحديد محاور الطرق والكبارى ثم الملاحة في الصحراء والتى دعمت العمليات الحربية البرية وسباقات الرالى الأرضية والريجاتا البحرية. وهنيئاً للملاحين التى لم تعد قضية

تحديد الموقع تشغل بالهم بقدر ما هو مطلوب منهم تعظيم الكفاءة والسلامة والإدارة.

ونعبر نحن المعاصرون لعتبة الانتقال بين الألفيتين إلى عالم جديد يحكمه عاملان أساسيان وثيقا الصلة بالملاحة... أولهما هو تحديد الإحداثيات الفراغية لكل نقطة سواء على سطح الأرض أو بالقرب منها، وثانيهما هو تحقيق الاتصال المباشر سواء للثوابت أو المتحركات. ولقد ساهمت تكنولوجيا الأقمار الصناعية سواء للموقع أو للاتصال في تأكيد دقة الموقع وإيجابية الاتصال.

من هنا نرى أن الألفية الحالية تحمل لنا رياح التكامل بين كل ما أفرزته تكنولوجيات السنوات الماضية، وقد بدأت تباشيرها بتطوير أنظمة المعلومات والخرائط الإلكترونية (ECDIS) وأنظمة الاتصالات مع أنظمة تحديد الموقع مثل أقمار INMARSAT والتكامل بين العملاقين الكبيرين في الفضاء GPS الأمريكي وGLONASS الروسي وينضم إليهما EGNOS الأوروبي وGALILIO العالمي، هذه في البداية، أما النهاية فسوف تتميز في تصغير حجم وحدات الاستقبال للأنظمة المتكاملة للدرجة التي تساعد الملاح على رؤية ومناولة المعلومات المتاحة وتداول الأجهزة.

وعودة أخرى للأنظمة الملاحية والتي هي موضع اهتمام هذا الكتاب، فنرى أن هناك فلولاً وبقايا النظم الإلكترونية التي تعتمد على محطات الإرسال الأرضية ونظريات الهيبربولا ونظام لوران-سي الذي نشك في تواصله لمدة طويلة خاصة بعد أن تقوم أوروبا بنشر أقمارها الصناعية بنفس الكفاءة والمقدرة التي وضعت بها الولايات

المتحدة الأمريكية أقمارها. لذلك فلسنوات قليلة مقبلة ستظل نظم الملاحة بالهيبربولا خاصة نظام لوران الأمريكى وشايكا الروسى منفردان أو متكاملان يعملان مع نظم الأقمار الصناعية. ثم تأتى حلقة الأقمار الصناعية والتى نرى فيها نظام الترانزيت الذى توارى بسرعة ولا عجب فى ذلك فإنه قد تم تحويل الاستثمارات فى مجال الفضاء من نظام ترانزيت الذى تم نشره منذ عام ١٩٦٣ إلى نظام GPS الذى بدأ العمل بكامل طاقته منذ عام ١٩٩٣ وهكذا نستعرض فى هذا الكتاب ما تبقى لنا من أنظمة ملاحية أرضية ونركز على الأنظمة الفضائية ونشير فى نهاية الكتاب إلى مفهوم التكامل الملاحى وخصائصه وبعض الأجهزة المستخدمة فى قياس الأعماق والسرعات والتراكى.

وقد راعى كاتب هذه السطور فى عرض الموضوعات التى يتضمنها الكتاب سهولة الشرح واختيار المصطلحات المتداولة بين الملاحين ومنطقية العرض وسرد بعض الأمثلة لزيادة الفهم أو لتأكيد الفكرة. كما راعى المؤلف ما تتطلبه معاهدات التدريب والسلامة البحرية فى الموضوعات التى يجب على الملاحين الإلمام بها.

ويود المؤلف أن يهدى بعض الكلمات لأصدقاء العمر الذين أسهموا بطريقة غير مباشرة فى منهجه العلمى ورحلوا عن دنيانا وهم أحمد أبو سمرة، الفونس صادق وتشارلز كوتر وإلى الزملاء والباحثين والدارسين فى مجال الملاحة الإلكترونية مع خالص تمنياته بالنجاح والتوفيق.

الربان الدكتور/ رفعت رشاد

الفهرس

الصفحة	الموضوع

الفصل الأول

خصائص الملاحة الإلكترونية

Characteristics of Electronic Navigation



١- خصائص الملاحة الإلكترونية

١-١ مقدمة

الملاحة هي فن الانتقال من مكان لآخر بكفاءة وأمان، وقد عُرف هذا الفن منذ قديم الزمن وبدأ بالملاحة الأرضية سواء فى الغابات أو الصحراء حيث كان الملاحون يهتدون بالنجوم فى تحديد خط سيرهم ثم انتقل للملاحة البحرية منذ آلاف السنين وتطور لاستخدامه فى الملاحة الجوية باختراع الطائرات فى القرن الثامن عشر ثم استخدم فى ملاحة الفضاء مع غزو الإنسان له في القرن التاسع عشر وتطورت فنون وعلوم الملاحة حتى وصلت إلى استخدامات الأجهزة والمساعدات الإلكترونية وأجهزة إرسال واستقبال موجات الراديو حتى أطلق عليها الملاحة بالراديو أو الملاحة الإلكترونية.

وتتميز الملاحة الإلكترونية بالدقة والسرعة فى الحصول على المعلومات اللازمة لتحديد العناصر الأساسية لأركان الملاحة وهي معرفة إحداثيات المكان أو الموقع ومعرفة خط السير أو الاتجاه ومعرفة الزمن وتحديد السرعة. ولقد تمكننا باستخدام أجهزة القياس الإلكترونية الحديثة من توفير الدقة العالية فى تحديد عناصر الملاحة هذه وأصبح عنصر التفضيل بين أنظمة الملاحة وأجهزتها تعتمد على سهولة الاستخدام والمزيد من الدقة ومقدار الاعتمادية فى النظام المستخدم والسرعة فى توفير البيانات.

ولقد تعددت الأنظمة الملاحية التى تعتمد على انتشار الموجات اللاسلكية وتستخدم الأجهزة الإلكترونية فى الملاحة منذ نهاية الحرب العالمية الثانية حيث بدأ أول الأنظمة الملاحية وهو نظام ديكا والذى استخدم لفترة طويلة ثم تبعه نظام لوران-سى ثم نظام أوميجا وهي الأنظمة التى تعتمد على وجود محطات الإرسال الأرضية ثم تطورت الأنظمة مع التقدم نحو الفضاء حيث استخدمت الأقمار الصناعية فى بث الإشارات بدلاً من المحطات الأرضية وبذلك تحقق أحد العوامل سواء فى تحديد الموقع أو تحديد الوقت وهو وجود كل من القمر الصناعى والراصد على خط عمل واحد، كما حدث تطور آخر فى تكنولوجيا الفضاء والأقمار الصناعية مع

اختراع أنظمة جديدة أكثر دقة من الأنظمة التى استخدمت فى السنوات الماضية لقياس الوقت بالساعات الذرية واستخدام الترددات العالية جدا.

١-٣ تطور الأنظمة الملاحية

تطورت الأنظمة الملاحية والملاحة الإلكترونية تطورا كبيرا فى السنوات الأخيرة حتى أصبحت الملاحة الحديثة شائعة الاستخدام لما وفرته للملاحين من وقت وجهد كبيرين بالإضافة إلى توفير درجة عالية من الدقة والثقة فى البيانات والمعلومات بما يحقق أكبر قدر من السلامة مع خفض تكلفة التشغيل بدرجة كبيرة.

وقد ساعد على هذا التطور الكبير العوامل التالية:

أ- التطور السريع فى وحدات الترانزستور (المواد النصف موصلة).

ب- التطور الكبير فى صناعة الدوائر الإلكترونية المتكاملة (IC) المطبوعة منها والمركبة.

جـ- الخطوات الواسعة التى خطاها الإنسان فى مجال غزو الفضاء وما صاحبها من حاجة ملحة لملاحة الفضاء.

د- اختراع الساعات الذرية (Atomic Clocks) واستخدام مذبذبات دقيقة ومستقرة.

هـ- تطور أجهزة الاتصالات اللاسلكية والتوصل إلى النظريات التى تشرح خصائص انتشار موجات الراديو واستخدام نوافذ جديدة فى الترددات العالية جدا (VHF Band) واستخدام الإشارات الرقمية.

و- التطور الكبير فى الحاسبات الإلكترونية ذات السعة الكبيرة والأحجام الصغيرة والسرعة الفائقة.

وقد تطورت المساعدات الملاحية الإلكترونية حتى شملت جميع العمليات الملاحية التى تتعلق بتحديد موقع السفينة إلكترونيا وتحديد خطوط السير والاتجاهات بواسطة البوصلات الجايروسكوبية وتحديد الأعماق والسرعات واتجاهات محطات الإرسال بالبيكونات بالإضافة إلى التطور الكبير الذى حدث فى أجهزة الرادار واستحداث أجهزة التوقيع الأتوماتيكية الأربا، كما

تشهد العلوم الملاحية في الوقت الحاضر تطوراً علمياً كبيراً في الاتجاهات الثلاثة التالية:

أ- الملاحة الكونية عن طريق القمار الصناعية (GPS) وجلوناس وجاليليو.

ب- تحديد الاتجاهات الحقيقية وخطوط السير باستخدام أشعة الليزر.

جـ- استخدام الخرائط الإلكترونية البحرية (ECDIS) بدلاً من الخرائط الورقية التقليدية وما يصاحبها من التكامل الملاحي.

مما سبق عرضه يتضح أن هناك تطوراً كبيراً في الملاحة الإلكترونية الأمر الذى أدى إلى تعددها لخدمة الملاحين مما يفرض علينا مسئولية اختيار النظام الملاحي المناسب للاستخدام والغرض المناسب.

١-٣ أنواع أنظمة الملاحة الإلكترونية

إذا نظرنا إلى الأنظمة الملاحية الإلكترونية نجد أنها تعتمد بصفة عامة على انتشار موجات الراديو فيما عدا نظام الملاحة بالقصور الذاتي INS الذى يعتمد على مجموعة من أجهزة قياس الاتجاه والسرعة والعجلة التزايدية للسفينة أو الطائرة Acceleration، فيما عدا ذلك فإن معظم الأنظمة الملاحية تعتمد على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية ولابد من وجود محطات إرسال تعتمد على شبكات أرضية مثل نظام لوران وبيكونات تحديد الاتجاه اللاسلكي أو مرسلات فضائية مثل أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية أو أجهزة ذاتية أخرى بحيث يكون كل من المرسل والمستقبل محمولاً بالسفينة مثل أجهزة الرادار وأجهزة قياس السرعة بالدوبلر وأجهزة قياس الأعماق بالصدى وأنظمة المساحة بالمستجيبات التراي سبوندرز.

هذا بالإضافة إلى أجهزة بيان خطوط السير وحركة الدفة والتحكم من بعد وأجهزة التوجيه الأتوماتيكية ومكررات البوصلة الحقيقية وعدادات قياس السرعة الأمامية والجانبية وأجهزة بيان معدل الدوران وأجهزة الاتصالات اللاسلكية ذوى المدى القصير منها والبعيد وأجهزة نقل الصورة بالفاكسمايل وأجهزة التحذير بالنافتكس وبيكونات الاستغاثة EPIRB بالإضافة إلى ما

سوف يفرزه التطور العلمي من استخدام أجهزة إلكترونية لعرض صورة الخرائط البحرية الإلكترونية ECDIS بدلاً من الخرائط الملاحية التقليدية، وهكذا فلم يترك ركن في أركان الملاحة إلا وغزته الأجهزة الإلكترونية الحديثة.

وعلى الرغم من تعدد الأجهزة الملاحية وخاصة أنظمة تحديد الموقع الإلكترونية، فإنها تتميز فيما بينها بالنظرية الرياضية التي نعتمد عليها لتحويل المعلومات الفيزيائية الخاصة بانتشار الموجات اللاسلكية إلى معلومات ملاحية تتمثل في تحديد خطوط الموقع أو تحديد موقع السفينة بمعرفة خط الطول وخط العرض مباشرة أو الإحداثيات الجيوديسية أو الشماليات والشرقيات.

كما أن بعض هذه الأنظمة تعتمد على نظرية القطع الزائد Hyperbola لتحديد خطوط الموقع مثل نظام لوران وبعض الأنظمة المستخدمة في أعمال المساحة البحرية.

وعدد آخر من هذه الأنظمة يعتمد على قياس المسافة بين الراصد وبين الأهداف الملاحية مثل الرادار والأقمار الصناعية جي.بي.أس وبعض المساعدات الملاحية المستخدمة عند الاقتراب من الساحل لتحديد الموقع في الممرات المائية الضيقة.

كما أنه نظراً لتعقد الأنظمة الملاحية فإنه يلزم لتوقيع مكان السفينة أن تتوافر حاسبات إلكترونية بأجهزة الاستقبال لتحديد الموقع مباشرة بمعرفة كل من خط العرض وخط الطول وهو ما يمكن الاستفادة منه في أي من الأنظمة الملاحية الموجودة حالياً. أما من حيث القياس فتوجد أجهزة تعمل على قياس فرق الطور Phase Difference كما أن هناك أجهزة أخرى مصممة على قياس فرق الوقت أو المسافة أو تأثير الدوبلر، ولكل نوع من هذه الأنواع نظرية خاصة به وترتيبات معينة حتى يتمكن الملاح من تحديد الموقع وتحديد المعلومات المطلوبة من هذه الأجهزة.

وأخيراً، فهناك مجموعة متعددة من الأنظمة الملاحية الإلكترونية التي تستخدم عند الاقتراب من الموانئ والقنوات والممرات البحرية وبعضها

يعتمد على نظرية الهيبربولا مثل أنظمة لامبدا والبراون بوكس والهاي فكس أو تعتمد على أنظمة قياس المسافة بين بيكونات محددة على الساحل أو جانبي الممر المائي كما أن بعضها يعتمد على الأنظمة الفرقية Differential Systems المشتقة من الأنظمة الرئيسية مثل DGPS. وتتميز هذه الأنظمة الأخيرة بأنها قادرة على تحديد الموقع بدقة عالية جدا تبلغ عدة أمتار فقط كما أن المعلومات التى توفرها للملاح ليس فقط خط الطول وخط العرض وإنما أيضا بعد السفينة عن محور الممر الملاحي وبعد السفينة عن نقاط تغير خط السير (Waypoints).

١-٤ عناصر اختيار النظام الملاحى

يتوقف قرار اختيار النظام الملاحى الذى يستخدم بالسفينة على عدة عوامل متداخلة من الصعب النظر إليها مجردة ومن أهمها:

أ- تغطية النظام للمنطقة التى تتردد عليها السفينة فى خط سيرها العام.

ب- مقدار الدقة المطلوبة فى تحديد موقع السفينة.

ج- معدل الحصول على موقع السفينة.

د- الاعتمادية.

وغالبا ما يكون قرار استخدام أحد الأنظمة الملاحية مبنيا على أكثر من عامل واحد، وكثيرا ما يوجد بالسفينة أكثر من نظام يفضل استخدامه فى بعض الظروف بينما يفضل استخدام نظام آخر فى ظروف مختلفة؛ وبالإضافة لعامل السهولة فى الاستخدام ووجود بدائل أخرى من المساعدات الملاحية فإن العناصر التالية تساعد على الاختيار الأمثل للنظام الملاحى الذى تجهز به سفينة ما.

أولا: تغطية النظام أو توفره (المتاحية) Availability

من أهم العوامل التى تحدد نوعية النظام الذى يجب اختياره هو تغطيته للمنطقة التى تبحر بها السفينة، فهناك أنظمة تغطى بعض الأماكن ولا تغطى أماكن أخرى مثل لوران وأنظمة أخرى تغطى

العالم كله مثل أنظمة الأقمار الصناعية. فإذا كانت السفينة تتردد بين موانئ معينة وتتبع خطوط سير منتظمة، فإنه يجب معرفة النظام أو الأنظمة التي تغطي هذه المناطق حتى يمكن اقتراح النظام الذي نختاره بعد دراسة المتطلبات من العوامل الأخرى مثل الدقة وتكرارية تحديد الموقع.

ثانياً: الدقة المطلوبة من النظام الملاحي Accuracy

تعتبر الدقة التي يوفرها النظام الملاحي من أهم عوامل تفضيل استخدام نظام ملاحي على آخر والدقة التي تطلبها السفينة من أي نظام تعتمد على عاملين أساسيين، أولهما هو طبيعة عمل السفينة والثاني طبيعة المنطقة التي تبحر بها السفينة، فطبيعة عمل السفينة تحدد مقدار الدقة التي يجب أن تتوافر في النظام، فمثلاً السفن التي تعمل لأغراض خاصة مثل أعمال المساحة وأعمال حفر آبار البترول أو السفن الحربية وهي السفن ذات الطبيعة الخاصة، يتحتم عليها اختيار النظام الذي يعطي أكبر قدر من الدقة في معظم أوقات العمل والأمر الثاني هو طبيعة المنطقة التي تبحر فيها السفينة والعوامل التي تؤثر على دقة الموقع المطلوب بها مثل:

- كثافة المرور البحري في المنطقة
- وجود أنظمة فصل مسارات السفن ووجود المناطق العازلة بين الممرات
- اتساع المجرى الملاحي
- عمق المياه التي تبحر فيها السفينة
- وجود الأخطار الملاحية في منطقة الإبحار
- المساعدات الملاحية الأخرى في المنطقة مثل المساعدات المرئية من فنارات وعائمات وبيكونات للرادار.
- التكلفة التي تتحملها السفينة عند استخدام أنظمة ملاحية لا تعطي دقة عالية.

كما أن استخدام نظام ملاحي ذو دقة عالية يقلل من المسافة التي تقطعها السفينة في رحلتها ويقلل من مقدار انحراف السفينة بعيدا عن خط سيرها المطلوب. وكلما انخفضت هذه الدقة كلما زاد هذا الانحراف أو بعدت السفينة عن خط السير وينتج عن ذلك أن السفينة تسير مسافات أطول من المسافة المحددة بخط السير المطلوب، وبذلك إذا كانت السفينة تعمل مثلا في نقل الركاب أو إذا كانت تكلفة تشغيلها عالية فإنه في هذه الحالة يجب اختيار النظام الذي يوفر دقة كبيرة وبالتالي يساعد السفينة على التزامها بخط السير المطلوب وبالتالي تقل مسافة الإبحار إلى اقل مسافة ممكنة.

ثالثا: معدل إيجاد الموقع (تكرارية النظام)

Repeatability of the System

تعرف تكرارية النظام بعدد مرات تحديد موقع السفينة في وقت معين أو بمعنى آخر الفترة الزمنية اللازمة بين تحديد موقعين متتاليين. ويعتبر هذا المطلب مكملا للعامل السابق ذكره في عنصر الدقة من حيث طبيعة عمل السفينة والمنطقة التي تبحر بها. غير أن بعض الأنظمة الملاحية يمكنها أن تحدد موقع السفينة بمعدل مرتفع من التكرارية أو ما يشبه الاستمرارية.

رابعا: الاعتمادية في النظام (العول) **Reliability**

بعض هذه الأنظمة الملاحية تتأثر عندما تسير موجاتها في طبقات الجو المؤينة أو عندما تمر إشاراتها بين وسطين مختلفين، وبذلك فإن إشاراتها تكون معرضة لبعض المؤثرات المتغيرة وبذلك فإن الموقع الذي نحصل عليه باستخدام هذه النوعية من الأنظمة يتغير في المكان الواحد تبعا لتغير تأثير الطبقات المؤينة أو عوامل الانتشار الأخرى على الإشارات المستخدمة، إلا أنه لا يوجد نظام واحد خالي من هذا التأثير، فجميع الأجهزة الملاحية التي تعتمد على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية تتأثر بدرجات متفاوتة بتأثير الوسط

الذى تمر فيه هذه الإشارات إلا أن بعضها يكون ذو تأثير كبير يتوقف على الترددات المستخدمة، فالترددات المنخفضة تتأثر بشدة بالانكسار.

أما الملاحة بالأقمار الصناعية والتى تعتمد على ترددات عالية جداً، فإنها تنتشر فى خط مستقيم تقريبا وبأقل انكسار ممكن بين السفينة وبين القمر الصناعى مما يوفر اعتمادية عالية فى الموقع الذى نحصل عليه، كما أنّ هناك أنظمة لا تعتمد على موجات الراديو مثل أنظمة الملاحة بالقصور الذاتى Inertia Navigation Systems وبالتالى فدرجة الاعتمادية والثقة فى موقعها تكون كبيرة، ولذلك فإن هذه الأنظمة الأخيرة تستخدم فى الملاحة الجوية وملاحة السفن الصغيرة والسفن الحربية والغواصات غير أنها بالطبع ذو تكلفة عالية.

1-5 جيومترية القطع الزائد (الهيبربولا) Geometry of Hyperbola

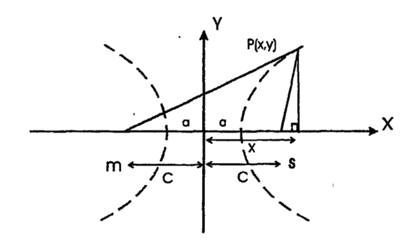
تعتمد معظم أنظمة الملاحة الإلكترونية الأرضية مثل لوران-سى والأنظمة المشتقة منهم على تحديد خط الموقع الناشئ عن منحنى القطع الزائد (الهيبربولا)، والقطع الزائد هو أحد المنحنيات المستنتجة من المقاطع المخروطية والتى تعرف بأنها المجال الهندسى لنقطة (P) تتحرك فى مستوى بحيث يكون فرق المسافات بينها وبين نقطتين ثابتتين مقدار ثابت، وتعرف النقطتان الثابتتان بأنهما بؤرتا المنحنى فى الشكل (1-1)، وتسمى المسافتان بالبعدين البؤريين لمنحنى الهيبربولا. ويلاحظ فى الشكل أن لمنحنى الهيبربولا صورة مطابقة تماما على كلا جانبي المحور الرأسي (Y)، أما ثابت الهيبربولا (2a) فهي ضعف المسافة بين قمة المنحنى وبين نقطة الأصل على خط الأساس الذى يصل بين البؤرتين (m, s) وهما نقطتان ثابتتان، أما المسافة بين البؤرتين فتسمى طول خط الأساس (2c) حيث:

$$a < c$$

ويمكن تحديد ثابت الهيبربولا بالمعادلة التالية:

$$Pm - Ps = 2a$$

حيث (Pm)، (Ps) هما البعدان البؤريان لمنحنى الهيبربولا. أما المعادلة العامة لمنحنى الهيبربولا فنحصل عليها بالتعويض عن قيمة (Ps) و(Pm) على النحو التالى:



شكل (1-1): منحنى الهيبربولا

$$\sqrt{(x+c)^2+y^2} - \sqrt{(x-c)^2+y^2} = 2a$$

$$\sqrt{(x+c)^2+y^2} - 2a = \sqrt{(x-c)^2+y^2}$$

بتربيع الطرفين:

$$\left[(x+c)^2+y^2\right] - 4a\left[\sqrt{(x+c)^2+y^2}\right] + 4a^2 = (x-c)^2+y^2$$

$$4c\,x + 4a^2 = 4a\sqrt{(x+c)^2+y^2}$$

بتربيع الطرفين مرة أخرى:

$$c^2x^2 + 2a^2cx + a^4 = a^2\left[(x+c)^2+y^2\right]$$

$$c^2x^2 + 2a^2cx + a^4 = a^2x^2 + 2a^2cx + a^2c^2 + a^2y^2$$

$$c^2x^2 - a^2x^2 - a^2y^2 = a^2c^2 - a^4$$

$$x^2(c^2-a^2) - a^2y^2 = a^2(c^2-a^2)$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{c^2 - a^2} = 1$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Where: $b^2 = c^2 - a^2$ at $b > 0$

وفي أنظمة الملاحة التي تعتمد على منحنى القطع الزائد، فإن موقع كل من البؤرتين (m, s) يكونان موقع محطتي الإرسال في النظام المستخدم للملاحة وتكون إحدى المحطات هي المحطة الرئيسية (Master) ويرمز لها بالرمز (M) والأخرى هي المحطة التابعة أو الثانوية (Secondary) ويرمز لها بالرمز (S) وتعرف المسافة بين المحطة الرئيسية وكل من المحطات الفرعية بطول خط الأساس (2c).

ويوجد عدد لا نهائي من منحنيات القطع الزائد التي تكون واقعة بين البؤرتين (M, S) أي المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية للنظام المستخدم، وتختلف معادلة كل منحنى باختلاف معاملات المنحنى أي (a, b)، ففي حين أن طول خط الأساس (2c) يكون ثابتا إلا أن قيمة (a) تتغير باختلاف بعد المنحنى عن نقطة الأصل، وبالتالي فإن قيمة المعامل (b) تتغير أيضا. وبكل نظام ملاحي طريقة لحساب وقياس أو تحديد خط الموقع أو منحنى خط الموقع الذي نتحدث عنه في نظرية القطع الزائد سواء بقياس فرق الوقت أو قياس فرق الطور أو قياس فرق الدوبلر والتي منها يمكن حساب فرق المسافات بين محطتي الإرسال (PM-PS) وتسمى المسافة بين منحنيات القطع الزائد بعرض الحارة (Lane-Width). وتكون المسافة بين هذه المنحنيات ثابتة ويحدد عرض الحارة بالقيمة المقاسة على خط الأساس فقط حيث أن هذه القيمة تزداد كلما بعدنا عن خط الأساس وفقا لخصائص انفراج أو تمدد منحنيات القطع الزائد بعيدا عن خط الأساس.

ويوضح الشكل (١-٢) عدد من منحنيات الهيبربولا المستخدمة في الملاحة والتي تسمى Line of Positions (LOP)s، وتمثل المسافة بين موقع محطتي الإرسال (MS) بخط الأساس والذي يعادل (2c)، وكلما زاد طول

خط الأساس تزداد تغطية منظومة الهيبربولا، كما تسمى الخطوط الغير مستمرة الممتدة من النقط M, S خارجيا بامتداد خطوط الأساس Baseline Extensions وهي منحنيات هيبربولا ولكنها لا تستخدم في الملاحة.

١-٦ معامل تمدد الحارات Lane Expansion

تسمى المسافة بين منحنيين متتاليين من منحنيات الهيبربولا مقاسة على خط الأساس بعرض الحارة Lane Width وهي بالطبع اقل قيمة عند خط الأساس وتزداد المسافة بين المنحنيات المتتالية وفقا لخصائص الهيبربولا وتكون دائما المسافة العمودية بين منحنيات الهيبربولا بعيد عن خط الأساس ويرمز لها بالرمز (L') أكبر من قيمة الحارة (L) على خط الأساس.

وتزداد قيمة عرض الحارة بمعامل يسمى معامل تمدد الحارات وفقا للعلاقة الرياضية التالية:

$$L = \frac{L'}{\sin\frac{\theta}{2}}$$

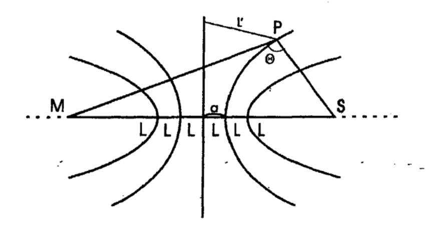
حيث (L): عرض الحارة على خط الأساس

(θ): الزاوية المحصورة بين اتجاهي المحطة الرئيسية

وإذا كان هناك خطأ في قياس خط الموقع بالهيبربولا (E)، فإن قيمة هذا الخطأ تكون أصغر ما يمكن على خط الأساس وتزداد قيمة الخطأ بنفس معامل تمدد الحارات بعيدا عن خط الأساس، ويتوقف مقدار الزيادة على قيمة الزاوية (θ) فكلما اقتربت الزاوية (θ) من الصفر بالقرب من امتداد خط الأساس كلما زادت قيمة الخطأ والعكس صحيح، فعندما تكون الزاوية (θ) أكبر ما يمكن (١٨٠°) على خط الأساس نفسه (ms) فإن قيمة الخطأ تصبح أصغر ما يمكن حيث:

$$E' = \frac{E}{\sin\frac{\theta}{2}}$$

ولهذا السبب فإن امتداد خط الأساس لا يستخدم فى أعمال الملاحة حيث أن قيمة الخطأ تصبح لا نهائية عليه.



شكل (١-٢):

١-٧ الخرائط الشبكية

فى أنظمة الملاحة الإلكترونية التى تعتمد على نظرية الهيبربولا فإنه يتم إنشاء خرائط ملاحية شبكية وهي خرائط ميركاتورية ملاحية يتم طبع خطوط ومنحنيات الموقع عليها بألوان مميزة كالأحمر والأخضر والبنفسجى وفقا لكل محطة من المحطات التابعة، وترقم هذه المنحنيات وفقا لنوع النظام المستخدم، وتسمى هذه الخرائط بالخرائط الشبكية (Lattice-Charts) وتغطى هذه الخرائط المناطق الملاحية التى يشملها النظام الملاحى المستخدم.

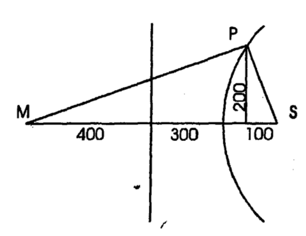
ورغم انتشار الخرائط الشبكية فى الملاحة فى المناطق المغطاة بأنظمة الملاحة الإلكترونية غير أنه يمكن الاستعاضة عنها بواسطة الجداول الملاحية التى تصدرها الجهات التى أنشأت كل نظام، وهي جداول تعطى خطوط الموقع لكل زوج من المحطات المرسلة فى نظام القطع الزائد، وتغطى مساحات أكبر من تغطية الخرائط الشبكية أو أن تستبدل كل من الخرائط الشبكية والجداول البحرية بالحاسبات الإلكترونية المزودة بها أجهزة الاستقبال والتى فى إمكانها أن تعطى موقع السفينة مباشرة بعد

تحديد خطي الموقع في النظام المستخدم في المنطقة التي تتواجد بها السفينة.

مثال ١-١

إذا كانت المسافة بين محطتي إرسال مقدارها ٨٠٠ كم وإحداثيات الموقع هي P(٢٠٠،٣٠٠) . أوجد معادلة الهيبربولا ثم اوجد معادلة الهيبربولا التالية لها إذا كانت المسافة على خط الأساس ٢٠ كم.

الحل:



إيجاد ثابت الهيبربولا:

$$PM - PS = 2a$$

$$\sqrt{(400+300)^2 + (200)^2} - \sqrt{(400-300)^2 + (200)^2} = 2a$$

$$\sqrt{700^2 + 200^2} - \sqrt{100^2 + 200^2} = 2a$$

$$504.4 = 2a$$

$$a = 252.2$$

$$b^2 = c^2 - a^2$$

$$= 400^2 - 252.2^2$$

$$\therefore b = (310.5)$$

معادلة الهيــبربولا: -

$$\frac{x^2}{(252.2)^2} - \frac{y^2}{(310.5)^2} = 1$$

ثابت الهيبربولا التاليــة:

$$a_1 = 252.2 - 20$$

$$a_1 = 232.2$$

$$b_1^2 = c^2 - a^2$$

$$b = 325.7$$

معادلة الهيــبربولا الثانيــة:

$$\frac{x^2}{(232.2)^2} - \frac{y^2}{(32.5.7)^2} = 1$$

الفصل الثانى

خصائص انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

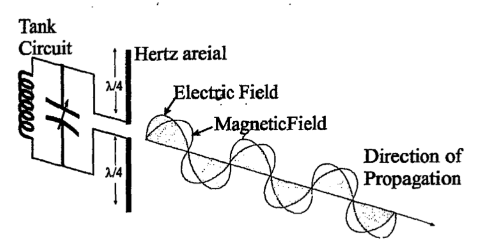
Propagation Characteristics of Electronic Waves



٢- خصائص انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

٢-١ الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Waves

طبقاً لقوانين الفيزياء فإن التيار الكهربائي ينتج عن حركة الشحنات الكهربائية التي تؤدي إلى وجود مجال كهربي يعمل على توليد مجال مغناطيسي والمجال المغناطيسي يولد مجالاً كهربائياً آخر... وهكذا، ومن هنا تنتج الموجات الكهرومغناطيسية وهي موجات لها مجال كهربي ومجال مغناطيسي متغيران بعلاقة جيبية موجبة، ومتعامدان على بعضهما وعموديان على اتجاه انتشار الموجات الكهرومغناطيسية، ويوضح الشكل (٢-١) تفسيراً لشكل الموجة الكهرومغناطيسية الموجبة التي يتعامد فيها المجال المغناطيسي والمجال الكهربائي واتجاه الانتشار.



شكل (٢-١): الموجات الكهرومغناطيسية

والموجات الكهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ بسرعة عالية جداً، كما أنها إحدى صور وجود الطاقة مثلها مثل الطاقة الكيميائية والطاقة الميكانيكية والطاقة النووية وغيرها، والواقع أن كل صور الطاقة الموجودة على الأرض هي ناتج كوكبنا الذى يستمد طاقته كل يوم عن طريق أشعة الشمس، فإن رؤيتنا للأشياء وإحساسنا بالحرارة دون لمس مصدرها مباشرة هي نتيجة

لقدرتنا على استقبال الموجات الكهرومغناطيسية التي تمثل الصادر أو المنعكس عن الأشياء.

وتنتشر الطاقة الكهرومغناطيسية في جميع الاتجاهات بنفس السرعة ويمكن تحديد اتجاه الانتشار باستخدام هوائيات ذات شكل خاص وعواكس تسمح بالانتشار في الاتجاه المراد وتوجيه الإشارة ناحيته مثل هوائيات الرادار، كما يمكن استقبال الإشارات الكهرومغناطيسية أيضاً من اتجاهات معينة بتركيز طاقة الانتشار مثلما يستخدم في أجهزة استقبال البث التليفزيوني والمرئي عبر القمار الصناعية باستخدام هوائيات إطارية أو عواكس على شكل قطع مكافئ Parabolic Reflector.

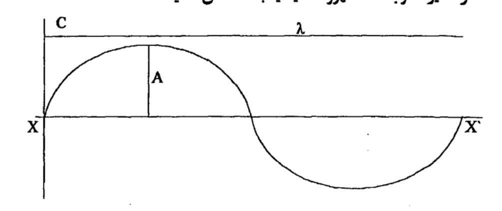
ويتم توليد الموجات الكهرومغناطيسية باستخدام أجهزة ودوائر إلكترونية تقوم بتوليد إشارات كهربائية لها نفس التردد تنقل عبر أسلاك إلى أجهزة خاصة تسمى الهوائيات، وتقوم هذه الهوائيات بتحويل هذه الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية للبث والانتشار في الجو المحيط أو خلال موجات أنبوبية أو خلال ألياف بصرية Optical Fiber Glass أي أن الهوائيات تعمل على تحويل الإشارات الكهربائية إلى موجات كهرومغناطيسية في حالة الإرسال والعكس في حالة الاستقبال حيث تعمل على تحويل الموجات الكهرومغناطيسية إلى موجات كهربائية والفرق الوحيد بين الصور المختلفة للموجات الكهرومغناطيسية هو الاختلاف في نافذة التردد Frequency Band أو ذبذبات هذه الموجات فللضوء تردداته، وللحرارة تردداتها، ولطيف الاتصالات ترددااته وهكذا.

٢-٣ الاتصالات اللاسلكية Radio Communication

تنقسم الاتصالات من حيث وسيلة نقلها إلى اتصالات سلكية، واتصالات لاسلكية وكما هو واضح من الإسم فالإتصالات السلكية هي التي يتم فيها نقل المعلومات عبر أسلاك أو كابلات عن طرق كهربائية مثل شبكات التليفونات أو شبكات اتصالات الحاسبات أو الأليـاف البصرية الممتدة بين مواقع مختلفة. أما الاتصالات اللاسلكية فهي التي تنقل فيها المعلومات عن طريق موجات كهرومغناطيسية تبث عبر الفراغ المحيط بواسطة هوائيات

إرسال معينة، وتستقبل في محطات الاستقبال بواسطة هوائيات أخرى، مثل الإذاعة والتليفزيون واتصالات الأقمار الصناعية، ونظرا لأن الاتصالات والإشارات اللاسلكية تبث في الهواء مباشرة فإنه في إمكان أي شخص مزود بأجهزة استقبال أن يعرف المعلومات التي تحملها هذه الإشارات.

وتتميز الموجات الكهرومغناطيسية بالخصائص التالية:



شكل (٢-٢): الموجة الكهرومغناطيسية

طول الموجة (λ) Wave Length

هي المسافة بالأمتار مقاس من النقطة X إلى النقطة X` كما هو موضح في الشكل (٢-٢)، وقد تكون أطوال الموجات كبيرة جدا وعبارة عن عدة كيلومترات وقد تكون متناهية الصغر بحيث تبلغ جزء على الألف من المتر وتسمى ميكروويف (موجات متناهية الصغر) ويكون النصف الأول من الموجة موجب بينما يكون النصف التالي من الموجة ذو شحنة سالبة.

السعة (A) Amplitude

هي المسافة الرأسية في الشكل (٢-٢) وهي تعبر عن شدة الموجة (Input Power).

الطاقة Energy

تزداد طاقة الموجة كلما زاد طولها أو زادت شدتها أو كلاهما، ويعبر عن الطاقة رياضياً بتكامل من λ، A.

$$E \propto \int A, \lambda$$

وتكون أقصى قيمة للطاقة بالقرب من محطة الإرسال وتقل قيمتها بالانتشار حيث يمتص الوسط الذى تسير فيه الموجة جزء من الطاقة وتتوقف درجة الامتصاص Absorption على معامل توصيلية الوسط فكلما كان الوسط موصلاً جيداً للكهربية كلما زاد معدل امتصاص الطاقة وبالتالى زاد وهن الموجة Attenuation. ومما هو جدير بالذكر أن طول الموجة لا يتغير بالانتشار إنما شدة الموجة (A) هي التى تقل وبالتالى تقل معها طاقة الموجة.

فترة الموجة Period (T)

لكل موجة كهرومغناطيسية فترة زمنية وهي فترة الدورة الكاملة. وتتناسب فترة الموجة طردياً مع طولها وعكسياً مع ترددها، فكلما زاد طول الموجة زادت فترتها.

التردد Frequency (F)

يعبر عن التردد بعدد الدورات الكاملة التى تصدر فى الثانية الواحدة وعلاقة التردد عكسية مع فترة الموجة.

$$F.T = 1 \text{ sec.}$$

$$F = \frac{1}{T}$$

وأيضا فإن التردد يتناسب عكسيا مع طول الموجة

$$F.\lambda = \text{constant} = \text{propagation values}$$

سرعة الانتشار Propagation Velocity

تبلغ سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية أكبر قيمة لها عندما تنتشر فى الفراغ إذ تبلغ قيمتها ٣ x ١٠^٨ متر/ثانية وتقل قليلا عندما تنتشر فى غلاف

الكرة الأرضية وتتأثر بشدة سماح ونفاذية الوسط الذى تسير فيه وتظل السرعة ثابتة إذا كان وسط الانتشار ثابتاً ولكن إذا تغير الوسط تتغير معه السرعة.

وتوضح السرعة العلاقة الثابتة بين كل من طول الموجة والتردد وفقاً للعلاقة الرياضية التالية:

$$\lambda.F = C$$

حيث λ، F هما طول الموجة بالأمتار والتردد بال/ثانية والسرعة (C) بالمتر/ثانية.

وبصرف النظر عن قوة الإشارة (A) أو طاقتها أو طول الموجة المتولدة أو قيمة التردد، فإن السرعة دائماً ما تكون ثابتة ولا تتغير إلا إذا تغير الوسط الذى تنتشر فيه الإشارة.

وهذا التغير رغم صغر قيمته فإنه يتسبب فى كثير من الأخطاء الحسابية عند استخدام إشارات الراديو فى تحديد وقياسات الموقع فى جميع الأجهزة الملاحية.

ومما هو جدير بالذكر أن الإشارة الكهرومغناطيسية هي المجال الكهرومغناطيسى الموجود فى الوسط بين كل من هوائى المرسل وهوائى المستقبل، أما الإشارة التى تتواجد على الهوائيات المرسلة أو المستقبلة فهي إشارة كهربائية أو مجال كهربائى له خصائص وسرعة تختلف كلياً عن مجال وسرعة انتشار الإشارة الكهرومغناطيسية.

٢-٣ الاتصالات التناظرية والرقمية

Digital and Analogue Communications

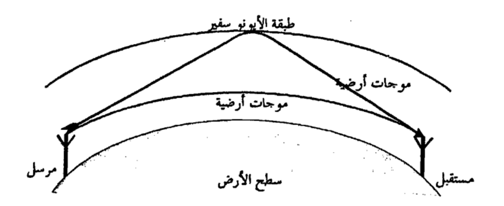
يمكن أيضاً تقسيم الاتصالات إلى اتصالات تمثيلية أو تناظرية واتصالات رقمية، فالاتصالات التمثيلية هي تلك التى تستخدم إشارات كهربائية تتغير باستمرار مع الزمن، ومثال ذلك شبكة التليفونات والإذاعة والتليفزيون حيث تتغير قيمة الإشارة مع شدة الصوت وطبيعته.

أما الاتصالات الرقمية فهي الإشارات التى تأخذ قيماً محددة عند لحظات معينة من الزمن، مثل الاتصال البرقى حيث يرمز لكل حرف من اللغة

بمجموعة من الرموز، وترسل عبر نبضات معينة ذات أزمنة مختلفة معبراً عنها بواسطة "النقطة والشرطة" والاتصال بين الحاسبات يتطلب إرسال رموز تمثل الصفر أو الواحد الصحيح (0,1)، وبمعدل زمني صحيح. ويمكن استخدام دوائر كهربائية معينة لتحويل الإشارات التمثيلية إلى إشارات رقمية وبالعكس. وهناك حالياً اتجاه عام لتعميم استخدام الاتصالات الرقمية.

٣-٤ مسارات الموجات الكهرومغناطيسية

عندما تتولد الموجة الكهرومغناطيسية وتبث خارج الهوائي المرسل فإنها تنتشر في جميع الاتجاهات بسرعة منتظمة وثابتة في الوسط الذى تنتشر فيه، وإذا كان الهوائي المرسل غير موجه، فإن انتشار الموجة يمكن تمثيله بنفخ بالونة مستديرة حيث يزداد حجمها بالتساوى في جميع الاتجاهات، وتنقسم الموجات الكهرومغناطيسية إلى موجات أرضية وموجات سماوية. ونعني بالموجات الأرضية ذلك الجزء من طاقة الإشارة التى تخرج من الهوائي المرسل وتصل إلى المستقبل على المسار الرضي، ونعني بالموجة السماوية ذلك الجزء من نفس الإشارة الذى يصل إلى المستقبل من الاتجاه العلوى أي المنعكس من الطبقات الجوية المؤينة، وعلى ذلك يجب أن يكون مفهوماً أن كل من الموجة الأرضية والموجة السماوية هما وجهان لنفس العملة، فهي موجة واحدة جزء منها ينتشر على الأرض وجزء آخر عند اصطدامه بالطبقات المتأينة في السماء فإنه يرتد إلى سطح الأرض ويسمى بالموجات السماوية. ويوضح الشكل (٢-٣) مسار الموجات الأرضية والسماوية لنفس الموجة الكهرومغناطيسية، وفيما يلى وصف لكل منهما.



شكل (٢-٣): مسارات الموجات الكهرومغناطيسية الأرضية والسماوية

٣-٤-١ الموجات الأرضية Ground Waves

الموجات الأرضية هي ذلك الجزء من طاقة الموجة الذى ينتشر بالقرب من سطح الأرض. وهناك نوعان أساسيان من الموجات الأرضية وهما:

أ- **الموجات الأرضية السطحية Surface Ground Waves**

وهي تلك الموجات التى تسير موازية لسطح الأرض وتتعرض لعدة انكسارات بالقرب من سطح الأرض وبذلك فإنها تنتشر لمسافات بعيدة إلى حد ما، ويتوقف مدى انتشارها على ثلاث عوامل هي:

١- قيمة التردد: فكلما انخفض التردد أدى ذلك إلى زيادة طول الموجة وبالتالى مقدار ما تحمله من طاقة تمكنها من الانتشار لمسافات بعيدة.

٢- معامل توصيل الأرض Earth Conductivity: تعمل الأرض على امتصاص طاقة الموجات اللاسلكية ويزداد مقدار الامتصاص كلما كان سطح الأرض أكثر توصيلاً للمجال الكهربائى.

٣- شدة الموجة: وهي معيار لقوة خرج الإشارة أو مقدار السعة، فكلما زادت قوة الخرج أو الشدة زادت قيمة الطاقة التى تحتويها الإشارة وبالتالى زادت مسافة الانتشار.

ب- الموجات الأرضية المباشرة Direct Ground Waves

وهي تلك الموجات التي تسير في خطوط مستقيمة أو اقرب ما يكون إلى الخط المستقيم وتنتشر بين الهوائي المرسل والهوائي المستقبل في مرمى وخط النظر Line of Sight ويتوقف مدى انتشار هذا النوع من الموجات على عوامل ثلاثة هي:

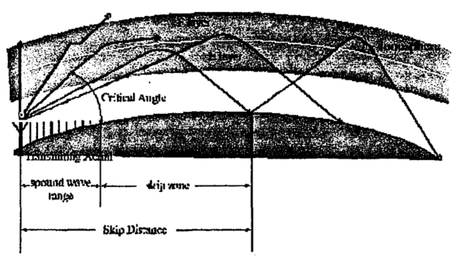
١- مدى انحناء سطح الأرض: فحيث أن الموجات تنتشر في خط مستقيم فإن انحناء سطح الأرض يحد من مدى الانتشار وبالتالي فإن وجود أي عوائق أو أجزاء مرتفعة عن الأرض يحد من مدى الانتشار.

٢- ارتفاع الهوائي المرسل والمستقبل: فكلما زاد ارتفاع الهوائي يزداد مقدار الأفق المقابل له Rational Horizon وتقدر مسافة الأفق بالعلامة الرياضية التالية:

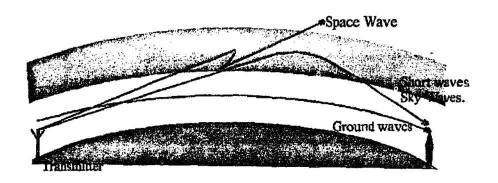
$$R = K\sqrt{h}$$

حيث (K) هي معامل الانكسار في المنطقة و(h) هو ارتفاع الهوائي عن سطح الأرض.

٣- شدة خرج الإشارة: فكلما زادت شدة خرج الإشارة كلما زاد احتمال زيادة مسافة انتشارها ما لم يحدها انحناء سطح الأرض أو أي عوائق جغرافية أخرى.



شكل (٢-٤): الموجات السماوية الأولى والثانية



شكل (٢-٥): الموجات الفضائية والأرضية

٣-٤-٣ الموجات السماوية Sky Waves

الموجات السماوية هي تلك الموجات التي تنعكس من الطبقات المؤينة إلى سطح الأرض، فعندما تصطدم مقدمة الموجات بالطبقة المؤينة فإن الجزء العلوى منها يكون قد دخل وسطاً مختلفاً عن الوسط الغير مؤين وقد يعمل هذا الوسط المؤين على زيادة سرعة هذا الجزء من الموجة وبالتالى فإن النصف العلوى من الموجة ينتشر بسرعة أكبر من النصف السفلى لها وهذا ما يرمز له الانكسار، وتتكرر سلسلة الانكسارات حتى تخرج الموجة من الطبقة المؤينة فى اتجاه الأرض وتصل إلى الهوائى المستقبل فى مسار يأتيها من اتجاه الطبقات المؤينة السماوية فيقال أنها موجات سماوية، وعندما يكون الهوائى موجود على سطح الأرض بحيث يمكنه استقبال كل من الموجات الأرضية والموجات السماوية، فإن الموجات الأرضية سوف تصل قبل الموجات السماوية حيث أن مسار الموجة الرضية أقصر من مسار الموجة السماوية ويزداد الفارق الزمنى بين كل من الموجة الأرضية والموجة السماوية بالقرب من محطة الإرسال، ويقل الفاصل الزمنى بين وصول الموجات الأرضية والموجات السماوية لنفس المستقبل بعيداً عن الهوائى المرسل.

وعندما يكون مكان الاستقبال بعيداً جداً عن الإرسال فإنه من غير المحتمل أن تصل الموجة الأرضية والتى تكون قد قوضت طاقتها بفعل امتصاص سطح الأرض لها بينما يحافظ ذلك الجزء من نفس الموجة الذى مر فى

الطبقات المؤينة بطاقته وينعكس مرة أخرى إلى سطح الأرض مكوناً الموجات السماوية.

وأحياناً ما تنعكس الموجات السماوية عند اصطدامها بسطح الأرض وترتد مرة أخرى إلى أعلى في اتجاه الطبقات المؤينة ثم تنعكس مرة أخرى إلى الأرض وعندئذ يطلق عليها اسم الموجة السماوية المنعكسة الثانية Second Sky Wave Hop. وهذا النوع من الموجات يكون قد قطع مسافة مضاعفة عن الموجة السماوية الأولى. ولذلك عندما يكون هناك جهاز استقبال يمكنه استقبال كل من الموجات الأرضية والسماوية الأولى والثانية فإن فرق الوقت يكون كبيراً بين كل منها وذلك الوقت يسبب اختلاف في الطور بين الموجات الأرضية والموجات السماوية.

ويوضح الشكل (٢-٤) مسارات الموجات السماوية الأولى والثانية وانعكاسها من الطبقات المؤينة، ويتوقف مقدار انعكاس الموجات السماوية من الطبقات المؤينة على عاملين، أولهما هو شدة أو كثافة التأين وهو عدد الإلكترونات الحرة الموجودة في المتر المكعب من الطبقة المؤينة، والثاني هو تردد الإشارة ($I = \frac{K}{F^2}$) حيث (I) هو معامل الانكسار، (K) كثافة التأين و(F) تردد الموجة. وحيث أن معامل الانعكاس أو الانكسار يتناسب عكسياً مع مربع التردد فكلما زاد التردد كلما قل احتمال انعكاس الإشارة، وكلما قل التردد زاد احتمال انعكاس الموجات وارتدادها إلى سطح الأرض وتسمى في هذه الحالة موجات سماوية أما إذا زاد التردد (VHF) فإن الإشارة عادة ما تخترق الطبقات المؤينة المنخفضة (D) والمتوسطة (E) والطبقات المرتفعة (F) وتنطلق في الفضاء الخارجي ولا تعود إلى الأرض مرة أخرى، ما لم تنعكس بفعل عاكس قوى وتسمى في هذه الحالة موجة فضائية (Space Wave). وفي بعض حالات التردد العالي (HF) وعندما تزداد كثافة التأين تنعكس الإشارة من الطبقة المتأينة العليا وترتد إلى سطح الأرض وهي ما يطلق عليها الموجات القصار (S.W) والتي تستخدم في الإذاعة.

ويوضح الشكل (٢-٥) كل من الموجات الأرضية والسماوية والفضائية وعلاقتها بالطبقات المؤينة وتسمي المنطقة علي سطح الأرض الموجودة بين أقصي مدى لانتشار الموجات الأرضية وأول استقبال للموجات السماوية بمسافة الانزلاق (Skip Distance) والتي لا يستطيع الهوائي المستقبل من استقبال الإشارة علي الموجات السماوية. أما منطقة الانزلاق Skip Zone فهي المسافة بين أقصي مدى لانتشار الموجات الأرضية وأول استقبال للموجات السماوية والتي لا يمكن استعمال الإشارة فيها سواء علي المسار الأرضي أو المسار السماوي.

٢-٥ أثر الترددات على مسار الموجات

يتأثر مسار الموجات تأثراً شديداً بقيمة التردد، فالترددات المنخفضة ذات الطول الموجي الكبير يمكنها الانتشار علي سطح الأرض وفقاً للمسار الموازى للأرض والمسافات بعيدة لأنها غالباً ما تحتوى علي طاقة كبيرة بالإضافة إلي أن معامل انكسارها كبير والذى توضحه العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{K}{F^2}$$

فكلما انخفضت قيمة التردد زاد احتمال انكسار الموجات وانبعث مساراً منحنياً علي سطح الكرة الرضية. ويبلغ مدى انتشار الموجات المنخفضة جداً ذات الطول الموجي الكبير عدة آلاف من الأميال كما أنها تتعرض للانكسار من الطبقة المؤينة المنخفضة (E أو D) وبالتالي ترتد إلي سطح الأرض.

وعلي ذلك فإن الموجات الطويلة ذات التردد المنخفض يمكن استخدامها علي كلا المسارين الأرضي والسماوى ولمسافات بعيدة وتنعكس عادة من الطبقة المتأينة المنخفضة، أما الموجات القصيرة ذات الترددات العالية فإن انكسارها يكون محدوداً ولذلك تنتشر في خطوط مستقيمة علي سطح الأرض ويمكنها اختراق الطبقات المؤينة والنفاذ للفضاء الخارجي مشكلة موجة فضائية تمكننا من الاتصال بالأقمار الصناعية حول الأرض.

٣-٦ أثر المناخ على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

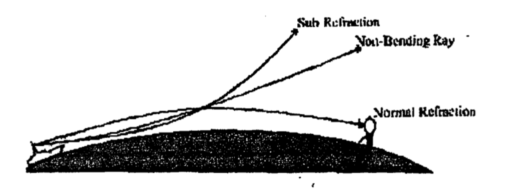
تتأثر الموجات الكهرومغناطسية التي تنتشر في المنطقة بين سطح الأرض وبين الطبقات المؤينة بالمناخ الجوى، فتتأثر بالتغير في درجات الحرارة ومقدار الرطوبة كما تتأثر عند مرورها في وسطين مختلفين في الخواص الفيزيائية من الكتل الهوائية أو عند مرورها فوق مناطق ذات توصيل كهربائي مختلف، وتكون أكثر الموجات الكهرومغناطيسية التي تتأثر بشدة التغير في الطقس الجوى هي الموجات المتناهية في الصغر Micro Waves. وبالتالي فإن أنظمة الملاحة التي تعتمد على قياس المسافة Ranging Systems تكون متأثرة بدرجة كبيرة بطول المسار الذى تتبعه هذه الموجات، حيث أنه من المفترض أن الموجات المتناهية في القصر أو الترددات العالية جداً تسير في مسارات مستقيمة وتتبع أقصر المسافات بين المرسل والمستقبل غير أن العوامل الجوية مثل اختلاف درجات الحرارة والرطوبة قد تغير من هذا المسار وبالتالى تتأثر دقة أنظمة قياس المسافات خاصة في أعمال المساحة البحرية أو تحديد الموقع بدقة. وتزداد المسافة التى تقطعها الموجات القصيرة جداً عن المسافة التى يقطعها الضوء فوق سطح الأرض بمقدار ٦٪ تقريباً وذلك يرجع إلي تعرض الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة للانحناء البسيط فى اتجاه سطح الأرض مما يجعل مسارها أطول قليلاً من مسار الضوء الذى يسير في خط مستقيم والعوامل القياسية الجوية الفيزيائية التى تستخدم لمعايرة مسار الموجات الكهرومغناطيسية هي أن يكون الضغط الجوى مساوياً ٧٦٠ مم (٢٩,٩٢١٣ بوصة) وأن تكون درجة الحرارة ١٥ درجة مئوية وذلك عندما تكون درجة الرطوبة النسبية صفراً مقاسة على سطح البحر.

وبالطبع فإن الطقس الجوى لا يظل على هذا الحال لذلك فإن اختلافات الدرجات القياسية للضغط ودرجة الحرارة والرطوبة تؤثر على مسار الموجات الكهرومغناطيسية، فإما أن تسير موجات الراديو في خطوط مستقيمة ودون انحناء أو أنها تنحنى انحناءاً طبيعياً في اتجاه سطح الأرض، أي إلى أسفل، أو أن يزداد هذا الانحناء بدرجة كبيرة فى اتجاه سطح الأرض، ويسمى في

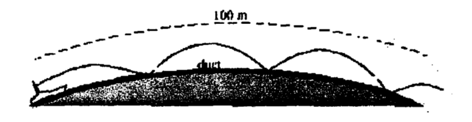
هذه الحالة انحناءاً موجباً شديداً Super Refraction أو انكساراً سالباً إلى أعلى شديداً Sub Refraction.

ويحدث الانكسار الموجب الشديد عندما تنخفض درجة حرارة الجو بالارتفاع بدرجة أقل من المعدل الطبيعي Temperature Lapse أو عندما تقل درجة الرطوبة بالارتفاع فإن موجات الراديو تتعرض للانكسار الموجب الشديد Super Refraction الذى يعمل على انتشار هذه الموجات على مسافات كبيرة تزيد عن معدلها الطبيعي. وعندما يكون الانكسار الموجب كبيراً جداً فإن موجات الراديو قد تحتجز بين سطح الأرض والطبقات المؤينة ويسمى المسار حينئذ بالنفق الجوى Duct Effect ويتكون النفق الجوى عندما يوجد هواء دافئ وجاف قادم من الأرض ويمر فوق سطح البحر البارد فيتكون Temperature Inversion أي انقلاب حراري وقد يصل سمك النفق الجوى إلي حوالي ٣٠ متر فوق سطح البحر، ويساعد على انتشار الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد العالي لمسافات تزيد عن معدلها.

وبالإضافة إلى ظاهرة الانكسار الموجب الشديد والنفق الجوى اللذان يغيران من مسار الموجات الكهرومغناطيسية، فإن العوامل الجوية قد تتغير لتسبب الانكسار السالب الشديد Sub-Refraction والذى تنحنى فيه موجات الراديو إلى أعلى وبالتالي تقلل بشدة من المدى الذى يمكن عليه استقبال موجات الراديو وتحدث هذه الظاهرة عندما تكون درجة حرارة الندى أعلى من درجة حرارة سطح البحر، وفي هذه الحالة فإنه يتكون الضباب، كما وأن انخفاض درجة الحرارة بشدة وبأكبر من معدلها الطبيعي بالارتفاع يساعد على الانكسار السالب لموجات الراديو القصيرة. ويوضح الشكل (٢-٦) و(٢-٧) كل من الانكسار الموجب والانكسار السالب والنفق الجوى لانتشار الموجات المتناهية في القصر Micro Wave على سطح الأرض.



شكل (٢-٦): الانكسار السالب والانكسار الموجب



شكل (٢-٧): تأثير النفق الجوى

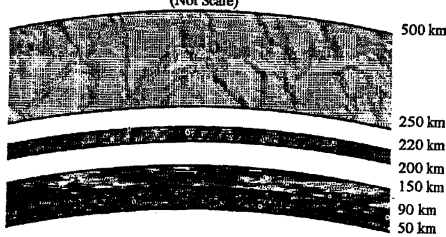
٢-٧ أثر التأيين الجوى Ionization

يحتوى الغلاف الجوى فوق سطح الأرض بين الارتفاع ٥٠ كم وحتى ارتفاع ٥٠٠ كم على ذرات مشحونة كهربائياً تسمى أيونات (Ions). وقد تكون هذه الأيونات المشحونة موجبة التكهرب أو سالبة التكهرب عن طريق فقد أو كسب عدد من الإلكترونات الحرة فى المدار الخارجى للذرة، فإذا فقدت الذرة عدداً من هذه الإلكترونات تصبح الذرة موجبة التكهرب أما إذا اكتسبت الإلكترونات فإنها تصبح سالبة التكهرب وتنشط هذه الأيونات فى الأجواء العليا فوق سطح الأرض بفعل أشعة الشمس الفوق بنفسجية Ultra Violet.

وتعتمد درجة التأيين على شدة الأشعة الفوق بنفسجية (.UV) التى تصل إلى الغلاف الجوى للأرض من الشمس ولذلك فإن درجة التأيين تكون أقل خلال ساعات الليل فى حين أنها تبلغ ذروتها فى ساعات النهار، وتزداد أيضاً

عندما يكون ميل الشمس عمودياً على سطح الأرض. وتعمل هذه الأيونات الموجودة في الغلاف الجوى على التأثير على الموجات الكهرومغناطيسية الصادرة من أي مكان على سطح الأرض فقد تمتصها بالكامل أو تعمل على انكسارها أو انعكاسها وارتدادها إلى سطح الأرض مرة أخرى، وعند انعكاسها يتحقق الاتصال بين المرسل والمستقبل والذى يتم بالموجات السماوية، أما إذا نفذت الموجات الكهرومغناطيسية من الغلاف الجوى إلى الخارج سميت هذه الموجات بالموجات الفضائية Space-Wave.

وتوجد أربعة طبقات رئيسية ومميزة تحيط بالكرة الأرضية أثناء النهار وينخفض عدد هذه الطبقات إلى اثنين فقط أثناء الليل، ففي النهار توجد الطبقة المؤينة الأولى القريبة من سطح الأرض على مسافة ٥٠ كم تقريباً وهي الطبقة (D) ثم يعلوها الطبقة (E) على ارتفاع يتراوح بين ٩٠ و١٥٠ كم ثم الطبقة (F_1) بين ٢٠٠–٢٥٠ كم. وأخيراً الطبقة (F_2) بين ٢٥٠–٥٠٠ وأثناء الليل فإن الطبقة (D) تتلاشى أو تنضم مع الطبقة (E) مكونة طبقة متوسط ارتفاعها حوالي ٩٠ كم. وكذلك تنضم كل من الطبقتين (F_1, F_2) في طبقة واحدة أكثر سمكاً ولكن أقل كثافة، ويكون متوسط ارتفاعها حوالي ٣٠٠ كم. ويوضح الشكل (٢–٨) ارتفاع الطبقات المؤينة فوق سطح الأرض.



شكل (٢–٨): طبقات الجو المؤينة

وتعمل الطبقات المؤينة المنخفضة (D,F) على انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية الطويلة جدا، أي ذات التردد المنخفض جدا (VLF) والتردد المنخفض (LF)، أما الطبقة المؤينة الوسطى (F1) وأحيانا الشريحة العليا من الطبقة (E) فإنهما يؤثران على الموجات الكهرومغناطيسية المتوسطة، أي ذات التردد المتوسط (MF) وتعمل على انكسارها وانعكاسها إلى سطح الأرض مرة أخرى. أما الطبقات العليا فإنها تؤثر على الترددات ذات الطول الموجي القصير أو الذبذبات العالية (HF) وتعكسها إلى سطح الأرض، وهذا ما يحدث لإشارات الراديو التي يتحقق بها الاتصال على مسافات بعيدة عبر الموجات القصار. أما الترددات العالية جدا (VHF) وما بعد ذلك في الطيف الترددى فإنها تنفذ من خلال الطبقات المؤينة وتصبح موجات فضائية وتحقق الاتصال مع القمار الفضائية الموجودة خارج الغلاف الجوى والتي بواسطتها يتم الاتصال بين الأرض وبين القمار الصناعية العديدة الأغراض سواء للملاحة أو الاتصالات كما أن درجة تأثير الطبقات المؤينة على الموجات الكهرومغناطيسية يعتمد أيضا على كثافة درجة التأين وعلى طول الموجة المستخدمة، فكلما زادت كثافة أو شدة التأيين كلما زاد معامل الانكسار Reflection Index أي أن معامل الانكسار (I) يتناسب طرديا مع شدة التأيين وعكسيا مع مربع تردد الإشارة الكهرومغناطيسية.

٣-٨ الطيف الترددى Frequencies Spectrum

تلعب الترددات دورا هاما في الاتصالات اللاسلكية، فتنوع التردد يحدد مقدار الطاقة التي تحتويها الموجة ويحدد ما إذا كانت الموجات سوف تنعكس من الطبقات المؤينة وترتد وبذلك تصبح موجات سماوية أن أنها تنتشر على سطح الأرض فتصبح موجات أرضية أم أنها تسير في خطوط مستقيمة وتنفذ من الغلاف المؤين وتسمى موجات فضائية مباشرة.

ونطاق الترددات Frequency Band متعدد، فهو يبدأ من شريحة الترددات المنخفضة جدا جدا (ELF) ويتدرج في الزيادة حتى يصل إلى شريحة الترددات العالية جدا جدا والتي تصل في ترددها إلى الترددات الضوئية... ولكل شريحة من هذا الطيف من الترددات استخداما مختلفا.

فقد خصصت النافذة المنخفضة للاستخدام الملاحي والنافذة المتوسطة والمرتفعة في الإذاعات بالراديو بينما اقتصرت النوافذ المرتفعة جدا (VHF) على استخدامات الاتصالات والاستشعار عن بعد ومختلف التطبيقات الفضائية، وما بعد ذلك من نوافذ ترددية اقتصرت على الإشعاع الفوق حراري والبنفسجي والأشعة السينية والإشعاع الضوئي.

ويمكن إيضاح خصائص النوافذ الترددية التي تستخدم في أغراض الملاحة والاتصالات على النحو التالي:

أولا: الترددات المنخفضة والتي تشمل النوافذ من ١٠-٢٠٠ ك/هرتز وتستخدمها أنظمة الملاحة التي تعتمد على محطات إرسال أرضية مثل لوران-سي حيث نجد أنه بإمكانها أن تنتشر لمسافات بعيدة على سطح الأرض كموجات أرضية وأيضا فهي تنعكس من الطبقات المؤينة المنخفضة ولذلك فإن الاتصال يتحقق سواء بالموجات الرضية أو الموجات السماوية وقدرتها على الاحتفاظ بطاقتها مرتفعة نظرا لطول موجاتها.

ثانيا: الترددات المتوسطة من ٢٠٠-٥٠٠ ك/هرتز، وهي الترددات التي تستخدم في الإذاعة وفي أجهزة تحديد الاتجاه اللاسلكي وفي إذاعة تصحيحات النظام للأقمار الصناعية GPS.

ثالثا: الترددات المرتفعة والمرتفعة جدا (H, VHF) فهي الترددات ذات الطول الموجي القصير جدا والتي لا تحمل طاقة تمكنها من الانتشار لمسافات طويلة على سطح الأرض، وهي تتميز بالانتشار في خطوط مستقيمة ويتحقق الانتشار إذا كان كل من المرسل والمستقبل على خط عمل واحد، وتستخدم في أغراض الاتصال التليفوني (VHF) وفي أنظمة الملاحة بالقمار الصناعية وفي أجهزة الرادار، وتستخدم الشريحة المنخفضة من هذه النافذة (HF) في الاتصالات بالراديو عندما ينعكس جزء من الطبقات المؤينة العليا، وإذا لم يتحقق هذا الانكسار فإن الترددات العالية تخترق الطبقات المؤينة وتسمى بالموجات الفضائية Space-Waves.

٢-٩ تشفير (تضمين) وتفسير الإشارات Modulation and Demodulation

الموجات الكهرومغناطيسية المستمرة (C.W) التي تولدها المذبذبات لا يمكنها أن تحمل معلومات ذكية ولكنها تستخدم كوسيط أو حامل للمعلومات التي نرغب في تبادلها على إشارات الموجات الكهرومغناطيسية ويتم إضافة المعلومات المطلوبة عن طريق تعديل صورة الإشارات المرسلة، وتسمى هذه العملية بالتعديل أو التضمين (Modulation). وعلى الجانب الآخر في طرف الاتصال تقوم أجهزة الاستقبال بتفسير هذه الإشارات المعدلة لبيان ما تحتويه من معلومات، وهذه العملية تسمى Demodulation وقد تستخدم الموجات المستمرة غير المعدلة في صورتها الجيبية في بعض القياسات مثل قياس الزمن أو قياس الطور أو قياس الشدة والطاقة أو قياس الدوبلر أي أنها تستخدم في أعمال القياس بينما العمليات الحسابية والتحكم من بعد والتخاطب فإنها تلزم بالضرورة إجراء تعديل للإشارة المرسلة. ويتم التعديل في أبسط صورة بخلط أو إضافة ذبذبات موجبة بصفة دورية إلى الموجات الأساسية الحاملة. وهناك عدة أنواع رئيسية من التعديل نوضحها فيما يلي:

أ- تعديل (تضمين) السعة أو الشدة Amplitude Modulation (AM)

في هذه العملية فإن الإشارة الأساسية أو الموجة الأساسية تحتفظ بترددها بينما تسمح بتغير سعة الموجة أو ارتفاعها أو شدتها.

$$V = Vc \sin \theta c$$
$$= Vc \sin (Wc\, t)$$

حيث (V) هي شدة الموجة في أي لحظة

(Vc) هي أقصى شدة للموجة عندما يكون طورها ٩٠ درجة

(W) هي السرعة الزاوية

(t) الزمن

(θ) هي الزاوية التي يقاس عندها التشفير.

وإذا كانت أقصى شدة للموجة المشفرة هي (Vc) فإن معامل التشفير (α) تكون قيمته:

$$\alpha = \frac{V`c}{Vc}$$

ويدل معامل التشفير (α) على عمق أو درجة التشفير. ويلاحظ أن حدود تعديل شدة الموجة الحاملة يتراوح بين أقصى قيمة له (Vc + V`c) وأقل قيمة له ( V`c–Vc) وعلى ذلك فإن شدة الموجة في أي لحظة يمكن استنتاجها من المعادلة التالية:

$$V = (Vc + V`c \sin Wm\, t) \sin Wc\, t$$

حيث (Wm) هي السرعة الزاوية للموجة المشفرة. كما أن التفسير الجبرى لهذه المعادلة يكون على الصورة التالية:

$$V = (Vc \sin Wct) - (\frac{\alpha\, Vc}{2} \cos[Wc + Wm]t) + \frac{\alpha\, Vc}{2} \cos[Wc - Wm]t$$

ومن الواضح أن المعادلة الأخيرة تحتوى على ثلاثة أجزاء هي:

$Vc \sin Wc\, t,$

$-\frac{\alpha\, Vc}{2} \cos [Wc + Wm]\, t,$

$\frac{\alpha\, Vc}{2} \cos [Wc - Wm]\, t.$

وهذه الأجزاء تتناسب مع ثلاث ترددات:

(Wc), (Wc + Wm), (Wc – Wm)

والتردد الأول هو التردد الحامل الأساسي والتردد الثانى يعبر عن الشريحة العلوية من نطاق التردد، الجزء الثالث هي الشريحة السفلية من نطاق التردد.

ب- تعديل (تضمين) التردد Frequency Modulation (FM)

في هذا النوع من التشفير فإن شدة الموجة الأساسية تظل بدون تغير بينما يتم التعديل أو التغير في قيمة التردد فيزداد تردد الموجة الحاملة في نصف دورة بينما يقل في النصف الآخر منها.

جـ- تعديل (تضمين) النبضة Pulse Modulation (PM)

يكون الإرسال في هذا التشفير غير مستمر وعلى شكل نبضات كل منها يحتوى على عدد من الموجات الحاملة ويتميز شكل التشفير بعرض النبضة أو فترتها والفواصل الزمنية بين كل منها وهذا ما يطلق عليه تشفير المورس. وتكون فترات النبضات مختلفة، فقد يكون التعديل مبنى على أساس نبضات طويلة ونبضات قصيرة مثلما يتم وفقا لإشارات المورس.

د- تعديل (تضمين) الطور Phase Modulation

في هذا النوع من التعديل يمكن إجراء تأخير في زمن الإشارة أو تغير طورها بأن تكون بعض الموجات موجبة والبعض الآخر سالبة.

كما يمكن إجراء تعديل بين نوعين أو أكثر من أدوات التعديل المتاحة، فمثلا يمكن عمل التعديل النبضي (P.M) مع تعديل السعة (AM). وتتيح لنا الاختيارات العديدة بين وسائل التعديل بأن نحصل على إشارات تضامنية Modulated تحمل العديد من المعلومات المراد بثها.

٣-١٠ الاستقطاب الرأسي والأفقي

يحدث الاستقطاب الرأسي Vertical Polarization عندما يتطابق مستوى المجال الكهربائي للموجات الكهرومغناطيسية مع مستوى زاوية سقوط الإشارة على هوائي الاستقبال Insident Angle بينما يحدث الاستقطاب الأفقي Horizontal Polarization عندما يكون المجال الكهربي للإشارة عمودي على مستوى الهوائي المستقبل أو أن زاوية السقوط تكون ٩٠°.

الفصل الثالث

مدارات الأقمار الصناعية

Satellite Orbits

٣- مدارات الأقمار الصناعية

٣-١ تمهيد

تطورت علوم الفضاء تطوراً كبيراً فى السنوات القليلة الماضية وعرف الإنسان الفضاء واستطاع أن يهبط على سطح القمر وأن ينظم رحلات استكشافية للفضاء البعيد وأصبح فى الإمكان إطلاق العديد من الأقمار الصناعية التى تدور فى مدارات مختلفة وعلى ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض.

وقد استخدمت الأقمار الصناعية فى الأرصاد الجوية والاستشعار من بعد والاتصالات اللاسلكية وأغراض الملاحة بالإضافة إلى العديد من هذه الأقمار التى تدور حول الأرض ولها أغراض خاصة متعددة. وقد استخدمت الأقمار الصناعية فى الملاحة منذ عام ١٩٥٧ بعد أن نجحت روسيا فى إطلاق أول قمر يدور حول الأرض حيث تمكن بعض العلماء الأمريكيين من رصد حركة القمر بدقة وتحديد مكانه فى المدار الذى يدور فيه، ومن هنا نشأت فكرة إستخدام القمار الصناعية فى تحديد موقع الراصد إما عن طريق قياس تأثير الدوبلر كما فى حالة للأقمار الصناعية ترانزيت أو قياس المسافات كما فى حالة الأقمار الصناعية جى.بى.أس.

٣-٢ التطور التاريخى لجيوديسيا الأقمار الصناعية
Historical Development of Satellite Geodesy

بدأ التطور المميز لجيوديسيا الأقمار الصناعية بإطلاق القمر الروسى SPUTNIK-1 عام ١٩٥٧ وتلاه وضع القمرين SPUTNIK-2 وEXPLORER فى مدارهما، وإحدى أول النتائج بعد إطلاق أوائل الصواريخ والأقمار الصناعية كانت التحديد الفعلى لشكل الأرض وحساب تفلطح الأرض من معطيات الأقمار الصناعية لتكون $f = 1/298.3$ تبعها إطلاق الأقمار الصناعية الأمريكية ووصول كل من نيل آرمسترونج وآلدرين إلى سطح القمر.

ويمكن تقسيم مراحل تطور جيوديسيا الأقمار الصناعية إلى ثلاثة فترات:

- الفترة الأولى بين عامي ١٩٥٨ و١٩٧٠ حيث تطورت فيها الطرق الرئيسية لرصد الأقمار وحساب وتحليل مداراتها. وتميزت هذه الفترة بتعيين الاتجاهات وقياسات الأقمار الصناعية بواسطة كاميرا تصوير تسمى BC-4، وأطلق على مشروع القياسات بواسطة الأقمار الصناعية فى ذلك الوقت ببرنامج BC-4 (Hofmann-Welenhof.,1992).
- الفترة الثانية من ١٩٧٠ وحتى ١٩٨٠ حيث تميزت بتطور طرق قياس حديثة، مثل نظام قياس المسافات إلى الأقمار الصناعية بواسطة أشعة الليزر (Satellite Laser Ranging (SLR وكذلك طريقة قياس الارتفاعات بواسطة الأقمار الصناعية. وبظهور نظام ترانزيت TRANSIT تم التمكن من تعيين إحداثيات جيوديسية للنقاط بطريقة الدوبلر DOPPLER (تعيين فروقات المسافات من قياس تغيرات الترددات الناتجة عن تغير السرعة بين الراصد والقمر الصناعى).
- الفترة الثالثة والأخيرة من ١٩٨٠ وحتى ٢٠٠٠ حيث تم استخدام مكوك الفضاء والمركبات الاستكشافية للفضاء البعيد.

٣-٣ الأقمار الصناعية Satellites

حتى يمكن تفهم إمكانيات الأقمار الصناعية فى العمليات الملاحية يجب أولاً التعرف على بعض الخصائص الهامة لمدارات الأقمار والقوى التى تحكم حركتها فى كل مدار وطرق الدفع والإطلاق ومصادر طاقتها.

يقصد بالقمر الصناعى أي جسم يصنعه الإنسان ويقوم بوضعه فى مدار حول الأرض أو حول القمر أو حول أي كوكب فى المجموعة الشمسية ويستقر فى المدار الذى وضع فيه. وتتحرك الأقمار الصناعية وفقاً لنفس القوانين التى تحكم حركة الكواكب التى تدور حول الشمس، ومن هنا فإنها ترسم مدارات بيضاوية وقليلة الانحراف عن المركز وتقع نقاط مدارها على مسافات دنيا ونقاط قصوى من الأرض وتسمى الحضيض Perigee والذروة Apogee. أما الزمن الذى تستغرقه الأقمار للدوران دورة كاملة حول الأرض فإنها تسمى بالفترة ("Period "T) وتختلف سرعة القمر على المدار نظراً

لاختلاف بعدها عن الأرض وتصل أقصاها عندما يبلغ القمر نقطة الحضيض وإلى أدناها عندما يبلغ موقع الذروة في المدار Apogee. ويتطلب وضع القمر في مداره عمليتين: الأولى عملية رفعه من سطح الأرض حتى المدار الذى يتحدد مسبقاً والثانية هي إعطاؤه السرعة المدارية المناسبة لكي يظل ثابتاً على المدار. ويتعين أن تكون نقطة الحضيض مرتفعة عن الأرض بقدر المستطاع حتى نتجنب احتكاك القمر بالغلاف الجوى الذى له تأثير على عمر القمر وفترة بقاؤه في المدار المخصص له حيث تعمل قوة الاحتكاك بين القمر والغلاف الجوى على تغير سرعة القمر وبالتالى يفقد خاصية ثباته في المدار. أما شكل القمر وهيكله ومواصفاته الميكانيكية والفنية فإنها تتوقف على عدة عوامل أهمها الغرض من القمر وكتلته عند إطلاقه شاملة التجهيزات التي يحملها من أجهزة اتصال وأجهزة تصوير أو تخزين أو مولدات الطاقة وقوة الصاروخ التي ينطلق به وعلى السرعة التي يجب أن يتحملها ودرجة الحرارة التي ينبغي أن يقاومها وأساليب تغذية القمر الصناعي بالطاقة، فالقمر الذى يستخدم بطاريات كهربائية سوف يختلف عن شكل القمر الذى يستخدم الطاقة الشمسية أو لوحات ذات خلايا فوتوكهربية.

ومن المهم لدراسة الأقمار الصناعية أن نفهم الحقائق الأساسية التي يعتمد عليها أي نظام للأقمار الصناعية وأهم هذه الحقائق هي تحديد المدارات التي تسير عليها هذه الأقمار وعلاقتها بالفضاء الخارجي والسرعة الزاوية للأقمار والسرعة الخطية وارتفاعاتها عن سطح الأرض وفترة دورانها حول الأرض. وقد وضع نيوتن Newton عام ١٦٧٨ الأسس البديهية للميكانيكا الحديثة التي تشرح نظرية الدفع وأن التجاذب المتبادل بين الكواكب وبعضها في المجموعة الشمسية ينظم حركاتها ببعضها كما أوضح أن قوة التجاذب تتناسب طرديا مع كتلة الأجسام وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

وتحمل الأقمار الصناعية للفضاء الخارجي بواسطة صواريخ إطلاق للفضاء قادرة على الخروج من الجاذبية الأرضية بسرعة مناسبة وقادرة أيضا على حمل الأوزان الملحقة لكل قمر صناعي حتى يوضع في مداره الخارجي.

فإذا ما تم التغلب على مجال الجاذبية الأرضية أصبح من السهل بعد ذلك وضع القمر في مداره وتعديل المدار وتعديل الارتفاع والسرعة وما إلى ذلك وهو بعيداً عن مجال الجاذبية الأرضية.

٣-٣-١ قوانين كبلر

قوانين الحركة التي تحكم حركة الأقمار في الفضاء قام بوضعها الفلكي الألماني الأصل جوانيس كبلر الذي درس مدارات الكواكب حول الشمس والتي تتفق مع حركة الأقمار الصناعية حول الأرض. وتعتمد هذه القوانين في صياغتها على اعتبار أن الأجسام الكونية كتلة مركزة في نقطة واحدة وأن القوى التي تحكمها هي قوة الجاذبية الناشئة بين هذه الكتل الكونية. وإذا اعتبرنا أن الأقمار الصناعية ستكون واقعة تحت تأثير جاذبية الأرض وحدها فإن قوانين كبلر يمكن صياغتها كالآتي:

أ- مدارات الأقمار الصناعية هي مدارات بيضاوية أي على شكل قطع ناقص أو على شكل قطع مكافئ أو قطع زائد وأن كتلة الأرض وجاذبيتها تتركز في إحدى بؤرتي المدار.

ب- المتجه (Vector) هو الخط الواصل بين مركز جاذبية الأرض ومركز جاذبية القمر الصناعي وهو يمسح مساحات متساوية في أزمنة متساوية وهذا يعني أن سرعة دوران القمر عند نقطة الحضيض أكبر من سرعة القمر عندما يكون أبعد ما يمكن بالقرب من نقطة الأوج (شكل ٣-١).

ج- إذا كان القمر الصناعي يدور في مدار دائري فإن مربع فترة المدار حول الأرض تتناسب مع مكعب نصف القطر لهذا المدار أي أن ($T^2 \alpha R^3$) حيث (T) هي فترة المدار، (R) بعد القمر عن مركز الأرض.

٣-٣-٢ استقرار القمر في مداره حول الأرض

تصف قوانين الجاذبية استقرار القمر في مداره حول الأرض حيث تؤثر على القمر في مداره قوتان رئيسيتان الأولى هي قوة الجذب بين الأرض والقمر ويكون اتجاهها في اتجاه مركز الكرة الأرضية وتتناسب قوة الجذب

(f_g) Gravitational Force مع حاصل ضرب كتلتي القمر والأرض وعكسيا مع مربع المسافة بينهما (R^2)، أي أن:

$$f_g = \frac{me\ ms}{R^2}$$

أما القوة الثانية فهي القوة الطاردة المركزية (f_c) Centrifugal Force وهذه بدورها تعمل في اتجاه معاكس لقوة الجذب ويكون اتجاهها بعيدا عن مركز الأرض وتتناسب القوة الطاردة المركزية طرديا مع مربع السرعة الخطية للقمر (V^2) وكتلته وعكسيا مع بعد القمر عن مركز الأرض (R)، أي أن:

$$f_c = \frac{ms\ V^2}{R}$$

وإذا ما تساوت القوتان حيث يكون القمر في مداره مستقرا محافظا على مسافته من مركز الكرة الأرضية ومحافظا على سرعته وعلى فترة دورانه حول الأرض فإن:

$$f_g = f_c,$$

ومنها:

$$\frac{me.ms}{R^2} = \frac{ms\ V^2}{R}$$

ومنها فإن:

$$V = \sqrt{\frac{me}{R}}$$

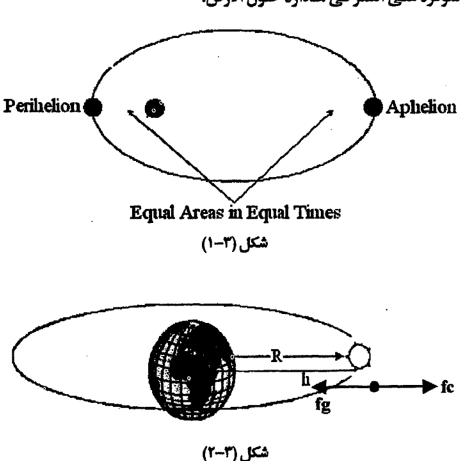
وحيث أن (R) تعادل قطر الكرة الأرضية (r) وهو قيمة ثابتة بالإضافة إلى ارتفاع القمر عن سطح الأرض (h) أي ($R = r + h$)، فإن قيمة السرعة (V) تصبح:

$$V = \frac{K}{\sqrt{r+h}}$$

حيث (K) هي قيمة ثابت الجاذبية وتعادل (630) و(r)، (h) هي نصف قطر الأرض وارتفاع القمر عن سطح الأرض على التوالي.

ويتضح من المعادلة السابقة أن السرعة (V) تتناسب عكسيا مع ارتفاع القمر (h) أي أن لكل ارتفاع لأي مدار يوجد له سرعة (V) التي عندها تتعادل

كل من قوة الجذب (f_g) والقوة الطاردة المركزية (f_c). وعلى ذلك فإن تحديد ارتفاع المدار المراد وضع القمر به يحدد السرعة المطلوب إكسابها للقمر حتى يستقر في هذا المدار مع افتراض عدم وجود أي مؤثرات أو قوى خارجية تؤثر أو تغير من القوى الرئيسية الواقعة على القمر في مداره والقوى الخارجية التي قد تؤثر بقيم مختلفة على القمر، فإذا كانت القوتان متعادلتان في القيمة، فإن القمر يستقر في مداره؛ أما إذا لم تتساوى القوتان، فإما أن يقل ارتفاع القمر حتى يدخل القمر في الغلاف الجوي للأرض ويحترق أو أن الارتفاع يزداد ويبعد القمر عن الأرض ويسبح في الفراغ اللانهائي ويدخل في مجال جاذبية آخر. ويوضح الشكل (٣-٢) القوى المؤثرة على القمر في مداره حول الأرض.



شكل (٣-١)

شكل (٣-٢)

٣-٣-٣ الاضطراب المداري Perturbation

يستقر القمر في مساره في مداره حول الأرض بصفة مستمرة ما لم تؤثر عليه قوى خارجية تغير من هذا المسار أو تغير من هذه السرعة والارتفاع الذى يدور عليه القمر. وإذا أثرت على القمر الصناعى قوة خارجية فقد تتسبب فى نقله من مدار إلى مدار آخر وعندئذ يقال أن القمر الصناعى قد اضطرب Perturbed وينشأ الاضطراب المدارى من المؤثرات التالية:

أولاً: قوة الاحتكاك الناتجة عن الغلاف الجوى وهي تؤثر على الأقمار ذات الارتفاعات المنخفضة (Low Earth Orbit (LEO، فعندما يكون القمر على مدار منخفض نسبياً في حدود بين ١٠٠٠-٥٠٠٠ كم فإنه يطلق عليه مدار منخفض ويكون معرضاً للاحتكاك مع بقايا ذرات وجزيئات الهواء الموجودة في الفراغ المحيط بالأرض ويعمل هذا الاحتكاك على مقاومة حركة القمر وبالتالى تنخفض السرعة (V) مما يؤثر بدوره على حالة استقرار القمر (Equilibrium) إذا اختلفت السرعة.

ثانياً: اختلاف جاذبية الأرض، فقوة جذب الأرض الناتجة من عدم تساوى وتجانس كتلة الأرض وعدم تساوى سطح الأرض تؤثر بالزيادة أو النقص في قيمة قوة الجذب وبالتالى تؤثر على مدار القمر بحيث تجعله يبادر بحركته في مدار يختلف عن المدار الأصلي ويسمى التأثير النهائى بالمبادرة Precession وهذا التأثير يجعل المدار ينحرف بمعدل زاوى سنوياً ويزداد تأثير الجاذبية على الأقمار الصناعية ذات الارتفاع المنخفض (LEO) حيث أن قوة الجذب تتناسب عكسياً مع مربع بعد القمر عن الأرض ويقل تأثيرها على الأقمار البعيدة والعالية (HEO) مثل أقمار الاتصالات (Geostationary).

كما أن اختلاف سرعة دوران الأرض حول الشمس يؤثر على عدم انتظام سرعة القمر الصناعى حول الأرض. ومن أكثر الأمور الشاذة التى تؤثر على حركة الأرض هو عدم ثبات محور دورانها الذى يرسم شكل مخروطى فى الفراغ ويتعرض للمبادرة على المدى

الزمني الكبير، وبالتالي يتضح أن الأقمار ذات الارتفاع المنخفض تتأثر بشدة بكتلة وجاذبية الأرض بينما يقل هذا التأثير للمدارات المرتفعة.

ثالثاً: قوة الجذب التي تسببها المجموعة الشمسية، فعند اقتراب الأرض وما حولها من أقمار صناعية من أحد الكواكب في المجموعة الشمسية أو اقتراب الأرض من الشمس في دورتها السنوية، فإن قوى الاستقرار المؤثر على القمر والتي تحدد على أساس السرعة المقابلة للارتفاع قد تختل وبالتالي تتسبب في اضطراب مدار القمر ويزداد هذا الاضطراب لجاذبية المجموعة الشمسية للقمار الصناعية العالية High Earth Orbit (HEO) عنها في الأقمار المنخفضة.

٣-٣-٤ الدفع الذاتي للأقمار الصناعية

يتضح من العرض السابق أن حالة الاستقرار الذي تتعادل فيه سرعة القمر الخطية (V) مع الارتفاع (h) تتعرض دائماً لمؤثرات خارجية تتطلب وجود قوة دفع ذاتية بالقمر الصناعي نفسه تعمل على المحافظة على وجود القمر في مداره وكلما خرج القمر عن هذا المدار تعمل قوة الدفع (Thrusters) على إعادة القمر إلى مداره وهذا يتطلب وجود العديد من (النزل Nossels) أو فتحات الضغط النفاث التي تعمل تلقائياً كلما خرج القمر عن مداره لتعيده مرة أخرى للمدار المحدد له، وتعمل هذه النزل أو الدفع النفاث بواسطة الوقود السائل الذي يحمله القمر ويستهلك خلال العمر الافتراضي للقمر.

ومما هو جدير بالذكر أن استهلاك القمر من الوقود النفاث ضئيل جداً حيث يحتاج إلى كمية قليلة جداً لضبط القمر في مداره وبالطبع سيكون استهلاك الوقود أكبر منه عندما يكون القمر على مدار منخفض (LEO) من سطح الأرض إذ عليه أن يقاوم كل من اختلاف الجاذبية الناتج عن اختلاف سطح الأرض وعن مقاومة الاحتكاك الناشئ عن جزيئات الهواء المتبقية في المحيط الخارجي للأرض. أما الأقمار ذات الارتفاعات الكبيرة (HEO) والمتوسطة (MEO) فإن استهلاكها من الوقود يكون ضئيلاً جداً وبالتالي

نفترض أن فترة بقائها فى مدارها تكون نسبيا أكبر من العمر الافتراضى للأقمار المنخفضة والقريبة من سطح الأرض لنفس كمية الوقود التى يحملها القمر؛ وعادة تستخدم الغازات المسالة لدفع والمحافظة على القمر فى مداره أثناء فترة تشغيله.

٣-٤ مصادر الطاقة Power Supply

تتناسب أنواع وطاقة مصادر التغذية مع وظيفة القمر الصناعى ومدة بقائه فى التشغيل وعلى مقدار الطاقة اللازمة لتشغيل الأجهزة الموجودة وعلى المدار الذى يدور فيه وارتفاعه وفترة دورانه. وبعض الأقمار الصناعية تعمل بصفة إيجابية Active وفى هذه الحالة فإنها تستقبل إشارات وترسل إشارات وتكون لها أجهزة تحكم وأجهزة استقبال وإرسال وذاكرة ووحدة تشغيل البيانات كما هو الحال فى الأقمار الصناعية المستخدمة فى الملاحة. كما توجد أقمار أخرى من النوع الغير إيجابى Passive وهو النوع الذى يقوم بإرسال الصور المرئية مثل أقمار الأرصاد والتصوير الجوى والاستشعار من بعد والأقمار المستخدمة فى الاتصالات. وكلما زادت الوظائف التى يؤديها القمر زاد بالطبع مقدار الطاقة اللازمة لتشغيله، ويمكن أن يستمد القمر الصناعى الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل ما يحمله من أجهزة بأحد الوسائل التالية:

أولا: التغذية عن طريق البطاريات الجافة Dry Batteries

استخدمت البطاريات الجافة فى الأجيال الأولى من الأقمار الصناعية والتى يتطلب عملها بضعة أسابيع فقط ولا يستلزم وجود وحدة تغذية ذو طاقة كبيرة غير أن قصر مدة استخدام البطاريات بالمقارنة مع التكلفة الكبيرة التى تصاحب إطلاق الأقمار فى مدارها جعل التفكير يتجه إلى مصادر تغذية أكثر استمرارية ويمكنها أن تمد القمر بالطاقة الكهربائية بفترة طويلة.

ثانيا: المواد المشعة **Isotopes**

استخدمت المواد المشعة التي تكون لها خاصية النظائر المشعة Radio Active في توليد الطاقة اللازمة للأقمار الصناعية واستخدمت المواد المتناظرة Isotopes التي تتعادل فيها عدد الإلكترونات مع عدد النيترونات. إلا أن استخدام هذه المواد المشعة كان محاذير كبيرة خاصة في الأقمار ذات الارتفاع المنخفض والتي يحتمل أن تفقد ارتفاعها وتدخل الغلاف الجوي، ورغم أن الأقمار الصناعية تحترق بفعل الاحتكاك عندما تدخل الغلاف الجوي إلا أن التخوف ظل سائدا من تسرب المواد المشعة إلى الأرض ولذلك بدأ التفكير في مصادر أخرى مثل الطاقة الشمسية.

ثالثا: الطاقة الشمسية **Photo Cells**

بدأ استخدام الطاقة الشمسية كبديل للمصادر المعروفة للطاقة، وتعتبر الطاقة الشمسية أكثر مصادر الطاقة نظافة وأكثرها استمرارية. وقد ساعد على التوسع في استخدام الطاقة الشمسية اكتشاف المواد البلورية من السيليكون النقي وتصنيع المواد النصف موصلة Semi Conductor والتي يمكنها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية كما تم تصنيع الخلايا الشمسية من المواد البلورية Silica Crystal Solar Cell كما استخدمت أيضا الطاقة الحرارية للشمس Solar Thermoelectric والطاقة الديناميكية Solar Dynamic System وتستخدم معظم الأقمار الصناعية حاليا الطاقة الشمسية التي تقوم بتأيين الجزيئات البلورية مثل الكالسيوم أرسنيد Calcium Arsenide الموجودة في هذه المواد وتجعلها مؤينة أي لديها فرق جهد يتناسب مع مساحة السطح المعرض للشمس وتقوم هذه الخلايا بإمداد أجهزة الإرسال والاستقبال بالقمر بالطاقة اللازمة عندما يكون القمر في النصف المضيء من الكرة الأرضية، وتبلغ مساحة كل خلية شمسية حوالي ١,٨ سم^{٢} ويمكن للخلية الواحدة أن تعطي طاقة كهربية قدرها ١١ م/وات كما يتم

تزويد وحدات التغذية بواسطة بطاريات النيكل كادميوم Nickle Cadmium والتي يمكنها تخزين الطاقة أو يمكن إعادة شحنها في فترة وجود القمر في النصف المضئ ثم يعاد استخدام هذه الطاقة عندما يكون القمر في النصف المظلم من الأرض. وقد أمكن استخدامها بصفة متجددة غير أن نوعيات البطاريات المساعدة المستخدمة تتلف بعد فترة قد تصل إلى سبعة سنوات وعندئذ يلزم إعادة إطلاق أقمار بدلا من التي نفذت طاقتها أو استبدال البطاريات التي نفذ مفعولها. ومرة أخرى فإن الأقمار الصناعية المنخفضة يكون لها تأثير سلبي على عمر تشغيل البطارية القابلة لإعادة الشحن حيث تقل قوتها في كل مرة يعاد شحنها.

٣-٥ العمر الافتراضي للأقمار الصناعية

لا يوجد وقت محدد لعمر القمر الصناعي، فعمره يعتمد على عوامل كثيرة منها ارتفاع القمر ودوائر التشغيل به أو مقدار الطاقة التي يستهلكها القمر. وعموما يمكن تحديد العمر الافتراضي وفقا للعوامل التالية:

أولا: نوع وشكل وحجم البطاريات المستخدمة في إعادة الشحن بالطاقة الشمسية وهي بالتالي تتناسب مع احتياجات القمر من طاقة التشغيل.

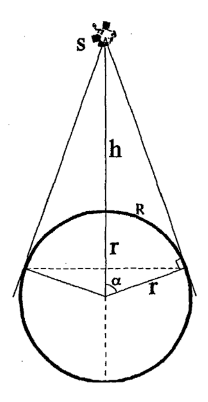
ثانيا: كمية ونوع الوقود المستخدم في المحافظة على القمر في مداره وهي بالتالي تعتمد على ارتفاعه ومقدار المؤثرات الخارجية التي تعمل على اضطراب العمر.

ثالثا: التغير الذي يحدث في التكنولوجيا المتاحة على الأرض، فما حدث من استخدام الدوائر الرقمية قد عجل من تغير الأقمار الصناعية التي كانت تعمل على الدوائر التناظرية.

٣-٦ دائرة الإسقاط Projected Circle

لكل قمر صناعي يدور حول الأرض دائرة إسقاط على سطحها وهي الدائرة التي تحدد المنطقة الجغرافية التي يمكن رصد القمر منها والحصول على

بيانات الإشارات التي يقوم ببثها وتتناسب مساحة هذه الدائرة مع ارتفاع القمر عن سطح الأرض فكلما زاد الارتفاع زاد نصف قطر هذه الدائرة.
فالأقمار الصناعية جي.بي.أس التي يبلغ ارتفاعها ٢٠,٠٠٠ كيلومتر يبلغ نصف قطر دائرة إسقاطها على سطح الأرض حوالي ٨٥٠٠ كيلومتر بينما يبلغ نصف قطر أقمار الملاحة ترانزيت التي تدور على ارتفاع ١٠٧٥ كيلومتر حوالي ٣٥٠٠ كيلومتر بينما يصل نصف قطر أكبر دائرة إسقاط لأقمار الاتصالات البحرية Inmarsat التي يبلغ ارتفاعها نحو ٣٦,٤٠٠ كيلومتر حوالي ٨٠٠٠ ميل بحري (٧٠° من خطوط العرض).
ومعنى ذلك أنه لابد من نشر عدد من الأقمار الصناعية في مدارات مختلفة حتى نضمن تغطية سطح الأرض مع وجود مناطق ذات تغطية مزدوجة Overlapped حتى تتأكد إمكانية الاتصال بالأقمار الصناعية في أي مكان على سطح الأرض. ويوضح الشكل ٣-٣ القوس على سطح الأرض (R) الذي يتناسب طوله مع ارتفاع القمر (h) عن الأرض.



شكل (٣-٣): دائرة رصد القمر على سطح الأرض

من الشكل (٣-٣) يمكن الحصول على قيمة الزاوية (α) كالآتي:

$$\cos\alpha = \frac{r}{r+h}$$

حيث (r) هي نصف قطر الأرض و(h) هـو ارتفـاع القمـر.

أما نصف قطر دائرة الإسقاط (R) فيمكـن استنتاجها كـالآتي:

$$R = \frac{\alpha}{360} x\, 2\pi r$$

٣-٧ ميل المدار Orbit Inclination

يعرف الميـل بمقـدار الزاويـة المحصـورة بـين مسـتوى المـدار Orbital Plane ومستوى خـط الاستواء مـن الجـانب الشرقي ويـتراوح الميـل مـن أصغـر قيمـة لـه مساويا للصفر عندمـا ينطبـق كـل مـن مستوى المـدار علـى مسـتوى خـط الاسـتواء إلى أكـبر قيمـة لـه عندمـا يكـون مستوى المـدار عموديـا علـى مسـتوى خـط الاسـتواء.

وفـي السـطور التاليـة نبـين خصـائص المـدارات الصفريـة المنطبقـة علـى خـط الاستواء وتلـك القطبيـة العموديـة علـى خـط الاسـتواء وعندمـا يكـون ميـل المـدار قيمـة بـين الصفـر، ٩٠° تكـون خصائصها متباينـة حسـب قربـها لأي مـن المسـتويين المذكوريـن.

٣-٧-١ المدار الاستوائي Equatorial Orbit

يوضح الشـكل (٣-٤) كـل مـن مسـتوى خـط الاسـتواء ومسـتوى المـدار ويتمـيز هذا المدار بـأن القمـر يتحـرك علـى دائـرة خـط الاسـتواء ودائمـا يكـون خـط العرض الجغرافي للقمر مساويا للصفر لأنه منطبق علـى خـط الاسـتواء ويختلـف خـط الطـول تبعـا لحركـة وسـرعة القمـر النسـبية مـع حركـة الأرض. فـإذا كـان القمر قريبـا مـن سـطح الأرض (LEO) فـإن حركـة القمـر مـن الغـرب إلى الشـرق تكـون أسرع مـن حركـة الأرض حـول نفسها فـي نفس الاتجـاه، فـإذا كـانت فـترة القمر فـي مـداره مقدارها ساعة واحـدة فإنـه عندمـا يكمـل القمـر هـذه الـدورة تكـون الأرض قـد دارت حـول نفسـها بعـدد مـن درجـات خـط الطـول تعـادل ساعة واحـدة أي ١٥° وبذلـك يكـون الموقـع الجغرافـي للقمـر مزاحـا فـي اتجـاه

الغرب بمعدل ١٥° وهكذا... أما مقدار ما يغطيه القمر من خطوط العرض شمال وجنوب خط الاستواء فإنه يتوقف على ارتفاع القمر، فكلما زاد ارتفاع القمر تزداد فترة الدوران (T) وبالتالي تزداد مساحة التغطية في اتجاه الشمال والجنوب والشرق والغرب أي أن دائرة الإسقاط تزداد حتى يصل ارتفاع القمر إلى ارتفاع معين (٣٦٤٠٠ كيلومتر) من سطح الأرض، وعند هذا الارتفاع (T) تكون فترة الدوران مساوية تماما لفترة دوران الأرض حول نفسها (يوم نجمي ٥٦ دقيقة ٢٣ ساعة) وعندئذ يقال أن القمر ثابت نسبيا في المدار Geostationary وعندها فإن الموقع الجغرافي للقمر يثبت على خط الاستواء وعلى خط طول معين ويظل هكذا موقعه النسبي للأرض ثابتا وتظل تغطية هذا النوع من الأقمار حوالي ٧٢° من خطوط الطول وخطوط العرض في جميع الاتجاهات.

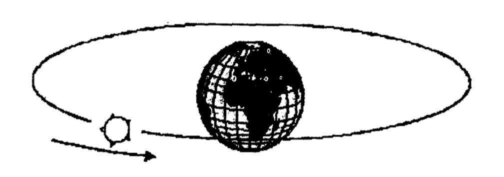
ويتضح من ذلك أن الأقمار الصناعية الاستوائية الذى ميلها صفر لا يمكنها تغطية خطوط العرض العليا ويصل أقصى خط عرض يمكن رصد الأقمار منه هو خط العرض ٧٠° شمالا وجنوبا في حالة الأقمار الصناعية الثابتة نسبيا مثل أقمار الاتصالات البحرية Inmarsat وأقمار الاتصالات المستخدمة في بث الإرسال التليفزيوني حيث لا يمكن رصدها من خطوط العرض التي تزيد عن ٧٠° ويظل موقعها الجغرافي ثابتا وفترة دورانها مساوية تماما لفترة دوران الأرض حول نفسها. وتستخدم هذه الأنواع في أغراض الاتصالات السمعية والمرئية.

٣-٧-٣ المدارات القطبية Polar Orbit

يوضح الشكل (٣-٥) الميل القطبي لهذا النوع من الأقمار الصناعية عندما يكون الميل مقداره ٩٠° فتكون هناك حركتان متعامدتان وهما حركة القمر في اتجاه الأقطاب أي من الجنوب إلى الشمال أو من الشمال إلى الجنوب وحركة الأرض من اتجاه الغرب إلى اتجاه الشرق، وهاتان الحركتان المتعامدتان تتيحان للقمر رصد كل نقطة على سطح الأرض سواء بالقرب من خط الاستواء أو الأقطاب.

وتتراوح الفترة بين رصد القمر بين دورتين متتاليتين على فترة مداره أي ارتفاعه وعلى مكان الراصد على سطح الأرض، فإذا كان الراصد موجود في الأقطاب أو بالقرب منها فإن الفترة المحصورة بين رصدتين متتاليتين لنفس القمر تعادل فترة مدار القمر نفسه وتزداد هذه الفترة إذا انخفض خط عرض الراصد حتى يقترب من خط الاستواء وعندئذ يمكن رصد القمر مرتين أحدهما عندما يكون القمر متجها من الجنوب إلى الشمال والثانية عندما يكون متجها من الشمال إلى الجنوب وتكون الفترة الزمنية بين الرصدتين أكبر ما يمكن. ويلاحظ أن خط عرض نقطة الإسقاط للقمر تتحرك من خط الاستواء إلى أن تصل إلى أكبر قيمة لها تعادل الميل (٩٠) في هذه الحالة شمالا وجنوبا.

وتستخدم هذه الأنواع من الأقمار عندما يراد رصد جميع أجزاء الكرة الرضية مثل أقمار الاستطالة Cosposs BAR SAT وأقمار الأرصاد الجوية Meteo SAT وأقمار الاستشعار من بعد Spot, Land SAT حيث يمكنها توفير تغطية شاملة للكرة الأرضية بقمر واحد فقط على فترة زمنية تتوقف على ارتفاع القمر.



شكل (٣-٤): المدار الاستوائي



شكل (٣-٥): المدار القطبي

٣-٨ إطلاق الأقمار الصناعية Launching Satellites

من أهم العوامل اللازمة لإطلاق الأقمار الصناعية أن تتمكن الصواريخ التي تحملها من اكتساب سرعة كبيرة جدا عند الانطلاق، ولذلك يجب الإفادة من السرعة الطبيعية لدوران الأرض حول نفسها والتي تبلغ أقصى قيمة لها عند خط الاستواء والتي تعادل ٩٠٠ ميل/ساعة أو ما يعادل ٤٦٣ كيلومتر/ساعة، وتقل هذه السرعة لتبلغ صفر عند الأقطاب وحوالي ٠,٢٣ كم/ثانية عند خط عرض ٦٠°، ولذلك فإن الأقمار الصناعية يتم إطلاقها من أقرب مكان ممكن من خط الاستواء للاستفادة من سرعة الأرض وكان اتجاه الإطلاق في الاتجاه الشرقي أي في نفس اتجاه دوران الأرض. ويوجد عدد قليل من محطات إطلاق الصواريخ الحاملة للأقمار الصناعية في العالم، فالولايات المتحدة لديها قاعدتين أحدهما في كيب كندي بفلوريدا على خط ٢١° شمال خط الاستواء وهي أقرب موقع مناسب للإطلاق من الولايات المتحدة، أما القاعدة الثانية فتوجد في كاليفورنيا

على ساحل الباسيفيك ومن خلالهما يمكن إطلاق مكوك الفضاء (Stuttle) الذى ينطلق صاروخياً من الأرض ويعود إليها على شكل طائرة. أما فرنسا فإنها بالاشتراك مع المجموعة الأوروبية تقوم بإطلاق الصاروخ آريان من القاعدة الفرنسية (جوان) فى البحر الكاريبى على خط عرض ٥ درجات شمالاً مستفيداً بأكبر قدر من سرعة الأرض. أما روسيا فإن قاعدتها تقع بالقرب من بحر قزوين على خط عرض ٣٩ درجة وتستعيض عن فقدها لسرعة دوران الأرض عند هذا المكان بزيادة قوة الدفع وتخفيض حمولة الصواريخ وما تحمله من أقمار.

كما أن خط العرض الذى نطلق منه الصواريخ يحدد قيمة الميل المبدئى لمستوى المدار أي أنه يمكن إطلاق القمر مباشرة للميل المعادل لخط عرض الإطلاق، أما إذا اختلف الميل المطلوب عن خط عرض الإطلاق فإن الأمر يحتاج إلى بعض الوقت حتى يتم حقن القمر فى مداره النهائي.

والسرعة التى يحتاجها القمر للإطلاق من سطح الأرض مناسب مع جاذبية الأرض ومثل هذه السرعة عندما يتم إطلاق المركبات الفضائية عند عودتها من القمر إلى الأرض حيث أن السرعة المطلوبة لإفلاتها من جاذبية القمر تكون صغيرة بالنسبة للسرعة المطلوبة فى حالة انطلاقها من سطح الأرض وفصل السرعة المطلوب للخروج من الجاذبية الرضية على خط الاستواء فى الاتجاه الشرقى ٦,٨٩ كم/ثانية.

وتستخدم طاقة هائلة لدفع الصاروخ الذى يحمل هذه القمار حتى يمكنه التغلب على قوة الجاذبية الأرضية، وقد قدرت هذه الطاقة المطلوبة لدفع وزن مقداره رطل واحد خارج المجال الجوى للأرض بحوالى ٥٠ مليون قدم/رطل ويقوم الصاروخ الذى يحمل القمر بحمل كمية كبيرة من الوقود فى وجود عامل مختزل Oxidizer ويعمل الاختزال على توليد كمية كبيرة من الغازات ذات الحرارة العالية والضغط العالى جداً وعند خروجها من نزل Nuzzle ذو فتحات صغيرة وتسمى مجموعة غرفة الاحتراق وجهاز تزويد الوقود وأنبوب طرد الغازات بروبرجول Propergol وتولد الغازات قوة دفع هائلة Thrust تدفع الصاروخ بالقمر بعيداً عن سطح الأرض وتسمى الضغط

اللحظى الكلى (Total Impulse) وحتى يتمكن الصاروخ من الاندفاع بعيداً عن سطح الأرض، يجب أن يكون له قوة دفع Thrust أكبر كثيراً من وزن الصاروخ وما يحمله من أقمار صناعية أو أشخاص.

$$T >> W$$

حيث: (T) = قوة الدفع Thrust

(W) = الوزن Weight

وعندئذ تكون عجلة الاندفاع لأعلى (A) Acceleration مقدارها:

$$A = \frac{T - W}{W} x\ g$$

حيث:

A= العجلة التسارعية لأعلى

W= وزن الصاروخ وما يحمله من أقمار ووقود

T= قوة الدفع الذى يحدثه اندفاع الغازات

g= الجاذبية الأرضية.

وحيث أن الصاروخ يحرق كمية كبيرة من الوقود بصفة مستمرة، فإن وزن الصاروخ يتناقص تدريجياً وبالتالى فإن عجلة التسارع (A) سوف تزداد بصفة مستمرة وعندما يرتفع الصاروخ تدريجياً فإن الجاذبية الرضية تقل تدريجياً وهذا أيضاً يساعد على التعاجل الحركى (A) وبذلك فإن العجلة المتوسطة سوف تكون:

$$A\ ave = \frac{T - W}{W/g}$$

وتبلغ السرعة المتوسطة للصاروخ فى مرحلة الانطلاق حتى بلوغه المدار بتكامل مقدار العجلة بالنسبة للوقت:

$$V \int = A\ ave\ x\ t.$$

حيث:

A ave= متوسط العجلة المتزايدة لحركة الصاروخ

t= الوقت الذى يستغرقه الصاروخ بالقمر حتى يصل إلى المدار المطلوب.

ولتقليل وزن الوقود الذى تحمله مركبة الإطلاق الصاروخية يستخدم الدفع الأيونى الذى يتكون من جزيئات أولية نشطة تكتسب سرعة فائقة نتيجة لمفعول مجال كهرومغناطيسى تبلغ شدته ١٠٠٠ فولت وقد مكنت وسائل الدفع الحديثة من الحصول على سرعات عالية جداً عند الإطلاق تبلغ ٤٠٠٠٠ متر/ثانية كما أن المحاولات مازالت مستمرة للحصول على وسائل دفع أكثر كفاءة باستخدام قوة الدفع الناتجة عن الضغط الذى تحدثه الفوتونات أو جزيئات الضوء والذى يسمى بالدفع الفوتونى.

ويتضح من العرض السابق أنه من المرغوب فيه إطلاق الصاروخ فى عدة مراحل حتى يمكن التخلص من الوزن الزائد لخزانات الوقود وتخفيف وزن الصاروخ وبالتالى زيادة العجلة وزيادة سرعة الصاروخ وتقليل ما يحتاجه من وقود لتكملة رحلة خاصة فى الوضع الأفقى الموازى تقريباً لسطح الأرض وعندما نرغب في زيادة السرعة النهائية للصاروخ، فإن تصميم مراحل إطلاق الصاروخ يمكننا من إكساب القمر الصناعى السرعة المطلوبة لكي يحافظ على الارتفاع المطلوب فى مداره، كما أن مراحل الإطلاق قد ساعدت فى تعديل خط سير الصاروخ ولم يعد من الضرورى إطلاق الصاروخ من خط العرض المساوى لميل المدار المطلوب بل أمكن إطلاق القمر من أي مكان وتعديل المسار أثناء تغير مراحل الصاروخ بالتخلص من الوزن الزائد وإطلاق الدفعة اللازمة من الاحتراق للسرعة الجديدة وأيضاً تعديل اتجاه ومسار الصاروخ حتى يصل إلى المدار النهائى الذى يستمر فيه القمر الصناعى Injected Orbit.

ويمكن الإفادة من خصائص المدارات مع مراحل إطلاق الصاروخ لوضع القمر الصناعى فى المدار المطلوب بأقل جهد ممكن. فمثلاً عندما يكون المطلوب وضع القمر فى مدار دائرى فإنه يتم دفعه عندما يصل إلى نقطة الحضيض وعندما يصل الصاروخ إلى نقطة الأوج من هذا المدار فإنه يكون قد وصل إلى المدار الدائرى فى ارتفاع المطلوب ولكن سرعته فى هذه النقطة تكون اقل من سرعة المدار الدائرى ويمكن تعويض هذا النقص فى سرعة الصاروخ بواسطة إطلاق مرحلة أخرى فى الاتجاه الموازى لسطح

الأرض فى هذه الحالة سيكون القمر الصناعى فى مدار دائرى موازى لسطح الأرض وعلى الارتفاع المطلوب ويسمى المدار البيضاوى Elliptical Orbit الذى دفع إليه قبل الوصول إلى المدار الدائرى بالمدار الوسيط Transfer Orbit.

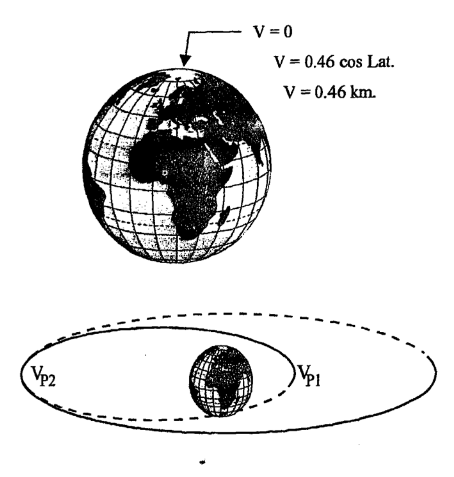
٣-٩ دفع القمر فى المدار النهائى Injection into Orbit

لكل مدار من المدارات سرعة معينة وهي التى تعمل على احتفاظ القمر بدورانه فى هذا المدار، أما اتجاه الدفع فيجب أن يكون فى الاتجاه الذى يمس هذا المدار وفى جميع الحالات فإن الحقن أو الدفع يجب أن يكون موازيا تماما لسطح الأرض.

ويوضح الشكل (٣-٦) مراحل إطلاق القمر من خط الاستواء فى اتجاه دوران الأرض، وعندما يصل الصاروخ الذى يحمله إلى نقطة الحضيض للمدار البيضاوى الوسيط فإنه يتخلص من خزانات الوقود التى ساعدته على الاندفاع من سطح الأرض حتى الوصول إلى هذا الارتفاع ثم تشتعل المرحلة الثانية وتغير من اتجاه الصاروخ ويعدل من السرعة ليكتسب سرعة تناسب موقع القمر فى نقطة الحضيض فى المدار.

وعندما يصل الصاروخ إلى أقصى ارتفاع له فى نقطة الأوج تبدأ المرحلة الثالثة والأخيرة ويتم اشتعال المرحلة الثالثة من الإطلاق التى تعدل من المسار والسرعة بحيث يكون المسار موازيا تماما لسطح الأرض والسرعة تناسب تماما الارتفاع المطلوب أن يكون عليه مدار القمر الدائرى حول الأرض.

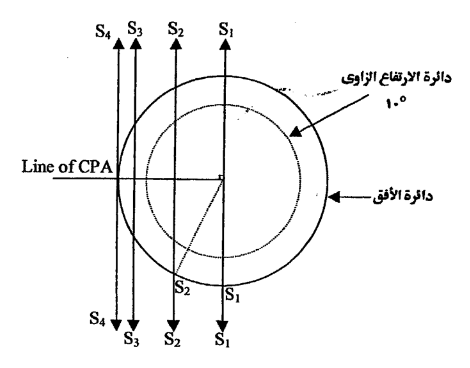
وتزود الأقمار بوسائل دفع ذاتية Hydrazine Thrusters على شكل نزل صاروخى أو محرك نفاث تعمل تلقائيا أو بالتحكم من بعد لتصحيح وضع القمر فى مداره بدقة تصل إلى متر واحد فى أغلب الأحيان. ويتم موازنة كل قمر Stabilized عن طريق كمية الحركة الناتجة عن مغناطيسيات قوية والتى تكسبه حركة دورانية حول نفسه ليكتسب قصور ذاتى Gyroscopic Inertia تحافظ على توجيه الخلايا الشمسية فى اتجاه الشمس وتوجيه الهوائى فى اتجاه سطح الأرض.



شكل (٣-٦): مراحل إطلاق الصواريخ حتى حقن القمر في مداره

٣-١٠ الإسقاط على دائرة الأفق

يوضح الشكل (٣-٧) إسقاط لدائرة الأفق لراصد يتواجد في مركزها (P) ويختلف نصف قطر دائرة الأفق تبعا لارتفاع عين الراصد والتي تزداد بزيادة ارتفاع عين الراصد وتمثل الخطوط (S_1)، (S_2)، (S_3) مسارات الأقمار الصناعية في سماء الراصد. ويوضح المسار (S_1) أن القمر الصناعي يمر فوق الراصد مباشرة بينما المسارات (S_2)، (S_3) ...الخ تمثل مسارات الأقمار فوق أفق الراصد ويمكن التعرف على بعض الاستنتاجات من هذا الشكل.

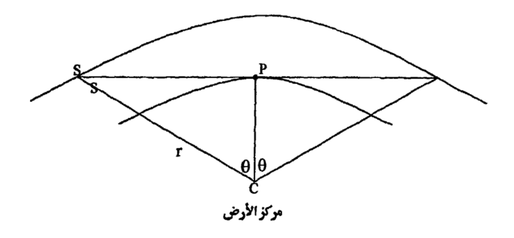


شكل (٣-٧): مسارات الأقمار على الإسقاط على دائرة الأفق

أولاً: فترة بقاء القمر فى سماء الراصد

يمثل الخط (S_1) مسار القمر الذى يبدأ ظهوره للراصد عندما يرتفع فوق الأفق ويختفى بخروجه من دائرة الأفق وبالتالى فإن المسار (S1) والذى يمثل قطر الدائرة هو أطول مسار فوق الأفق وبالتالى فإن فترة بقاء القمر للمسار (S1) تكون أكبر ما يمكن وتقل للمسارات الأخرى لتكون صفر عندما يكون المسار مماساً لدائرة الأفق.

كما يوضح الشكل (٣-٨) قطاع رأسى لمسار القمر الذى يمر مباشرة فوق سمت الراصد والذى يعبر عنه بالمسار (S_1) فى الشكل (٣-٧) وهي أكبر فترة لوجود القمر فوق أفق الراصد.



شكل (٣-٨): مسار منحنى القمر فوق الراصد

ومن الشكل (٣-٨) يتضح أنه يمكن استنتاج قيمة الزاوية (θ) المقابلة لعبور القمر فوق الراصد عند أطول فترة عبور:

$$\text{Cos}\,\theta = \frac{r}{r+h}$$

حيث (r) هي نصف قطر الأرض، (h) هي ارتفاع القمر عن سطح الأرض.
وبالتالى فإن فترة عبور القمر فوق أفق الراصد (t) يمكن استنتاجها من العلاقة التالية:

$$t = \frac{2\theta}{360} \times T$$

حيث (T) هي فترة دوران القمر فى مداره حول الأرض.

ثانيا: السرعة النسبية للقمر

السرعة النسبية للقمر بالنسبة للراصد تعتمد على كل من السرعة الخطية للقمر فى مداره (S) وعلى حركة الراصد وعلى اتجاه الراصد من القمر وعلى سرعة دوران الأرض عند خط عرض الراصد والتى تتناسب مع جيب تمام خط العرض Cos.Latitude.
وبالتالى فإن السرعة النسبية عندما يكون القمر على المسار (S_1) أكبر ما يمكن بينما السرعة النسبية للقمار فى المسارات الأخرى تعادل:

$$Vr = V_{max} \cos \alpha$$

حيث (Vr) السرعة النسبية، (V_{max}) أقصى سرعة للقمر و(α) الزاوية بين مسار القمر واتجاه الراصد من القمر في الشكل (٣-٧).

ثالثا: الارتفاع الزاوى للقمر الصناعي

يختلف الارتفاع الزاوى بين القمر وبين أفق الراصد باختلاف مساره واختلاف موقعه في كل مسار، وعموما فإن ارتفاع القمر الزاوى يكون صفرا عندما يكون القمر على دائرة الأفق على أي مسار.

ففي حالة المسار الأول (S_1) فإن الارتفاع الزاوى يزداد تدريجيا حتى يصل إلى أقصى قيمة له عندما يكون القمر فوق سمت الراصد وبالتالي يصبح الارتفاع °٩٠ درجة ثم يقل مرة أخرى حتى يغرب القمر تحت الأفق. أما في المسارات الأخرى فإن الارتفاع الزاوى للقمر يبدأ من الصفر على دائرة الأفق ويزداد حتى يصل إلى أقصى قيمة له عندما يكون عموديا على اتجاه الراصد ولكن يكون الارتفاع الزاوى في هذه المنطقة أقل من °٩٠ بينما في المسار رقم (S_3) على سبيل المثال فإن أقصى ارتفاع زاوى للقمر يبلغ حوالي °٢٠ على سبيل المثال.

رابعا: مسافة القمر من الراصد

عندما يكون القمر على دائرة الأفق فإن مسافة (المدى) القمر من الراصد تكون أكبر ما يمكن وتقل هذه المسافة كلما زاد الارتفاع الزاوى فوق الأفق وتقل هذه المسافة في المسار الأول (S_1) حتى تبلغ أقل قيمة لها عندما يكون القمر فوق سماء الراصد وتعادل في هذه الحالة ارتفاع القمر (h) فوق سطح الأرض وتبلغ ٢٠,٢٠٠ كم تقريبا، أما المسارات الأخرى (S_2)، (S_3) فإن مسافة القمر تصل إلى اقل قيمة لها في المسار عندما يبلغ ارتفاعه الزاوى أقصى قيمة له، أي عندما يكون مكان الراصد عموديا على مسار القمر. ولكن في جميع الحالات تكون مسافة القمر أكبر من الارتفاع (h) ويوضح الخط

العمودى على مسار الأقمار أقل مسافة (Line of CPA) وهو أيضا الخط الذى يكون القمر عنده أكبر ارتفاع زاوى للقمر واقل مسافة للراصد على كل المسار.

خامسا: دائرة الارتفاع الزاوى المنخفض

فيما يخص الأقمار لمستخدمة فى الملاحة فإنه عندما يكون الارتفاع الزاوى للقمر فوق الأفق يقل عن ١٠° درجات، فإن إشاراته تتعرض لأخطاء الانكسار فى الطبقة المؤينة وأيضا عندما تقترب من سطح الأرض، وعلى ذلك فإن الأقمار المحصورة بين دائرة الأفق ودائرة الارتفاع الزاوى ١٠° درجات -والموضحة بالدائرة الصغرى فى الشكل (٣-٧)- تكون قليلة الفائدة فى مجال تحديد الموقع فى الملاحة وقد تستبعد من الرصد.

الفصل الرابع

الأقمار الصناعية الملاحية

NAVSTAR – GPS
Navigation System with Time and Ranging
Global Positioning System

٤- الملاحة بالأقمار الصناعية GPS

٤-١ تمهيد

نظام الملاحة بالأقمار الصناعية GPS هو أحد منظومات الملاحة العالمية التي انفردت بإنشائه الولايات المتحدة الأمريكية بعد نظام الأقمار الصناعية ترانزيت. وقد تبلورت أفكار إنشاء نظام الملاحة بالأقمار الصناعية لقياس المدى والوقت منذ بداية السبعينات في القرن الماضي وبدأت في تنفيذه في بداية الثمانينيات واستخدم لتحديد الموقع جزئياً في بداية التسعينات واكتملت منظومته في عام ١٩٩٦ حيث أصبح النظام الدقيق الوحيد الذي يتميز بإمكانيات كبيرة في دقة وسرعة تحديد الموقع بصفة مستمرة وتحت جميع الظروف الجوية.

ويخضع تشغيل النظام للإدارة العسكرية الأمريكية DOD والتي توفر له دقة أكبر في الاستخدام العسكري بينما تكون الدقة المتاحة للاستخدام المدني Standard Positioning Servicing (SPS) أقل بعض الشيء من الدقة المتاحة للاستخدام العسكري.

وقد استفادت العديد من الأعمال والأنشطة الحيوية من هذا النظام بالإضافة إلى أغراض الملاحة، فقد استخدم في أعمال المسح البحري والبري وفي أعمال التنقيب عن البترول وفي أعمال البحث والإنقاذ كما تم اختبار النظام في كل مراحله حتى اصبح كل من يستخدمه مقتنعاً تماماً بأنه أفضل النظم الملاحية الإلكترونية على الإطلاق وحتى هذا الوقت من تاريخ التطور في أنظمة الملاحة، فالنظام الحالي يوفر قدراً كبيراً من الدقة في تحديد الموقع في ثلاث أبعاد ويوفر ثقة عالية لمستخدميه وقدراً أكبر من الاعتمادية (Reliability) ويغطي جميع أنحاء العالم شمالاً وجنوباً وشرقاً وغرباً ومناطق الأقطاب الشمالية والجنوبية وهو ما يطلق عليه عند تقييم النظام (Availability) وحيث أن النظام يمكنه أن يعطي بيانات الموقع بصفة مستمرة، فإن عنصر التكرارية يكون قد تحقق (Repeatability) وبذلك فإن نظام الـ GPS قد حقق مطالب الملاحة وهذا من حسن حظ

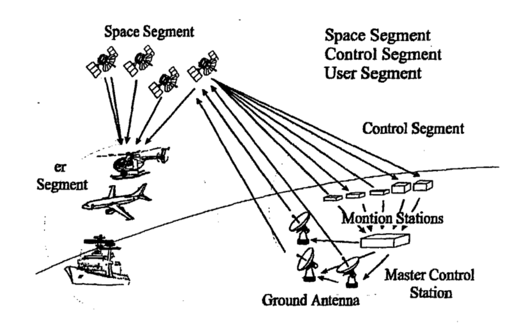
الملاحين سواء المحترفين منهم أو الهواة والرياضيين، كما أن المستخدمين لهذا النظام لا يتحملوا شيئاً حتى الآن من التكلفة الرأسمالية في إنشاء النظام، ولكنهم فقط يتحملوا تكلفة جهاز الاستقبال الذى تتنافس في صناعته وتقديمه للملاحين العديد من الشركات المتخصصة والتي تحاول أن تجعله في متناول يد الجميع. وبعد أن اكتمل هذا النظام في نهاية مجموعة الأنظمة الملاحية في تحديد الموقع، فلا يجب أن تشغل قضية الملاحة وتحديد الموقع ضباط الملاحة بشكل رئيسي بل يمكننا أن نقول أن أنظمة الملاحة وعلى رأسها النظام الحديث قد وفر الكثير من الوقت والجهد للملاحين لتوظيفها في أغراض سلامة الأرواح وكفاءة الرحلة. ومما هو جدير بالذكر أن نظام GPS قد تكلف أكثر من ٢٥ مليار دولار وقد تأخر نشره عدة سنوات بسبب انفجار مكوك الفضاء تشالنجر إلا أن النظام قد اكتمل وتم نشر جميع الأقمار في مداراتها وأصبح النظام أو المنظومة تضم ٢٤ قمراً. ومن الممكن استخدام ٩ أقمار من هذه المجموعة في أي وقت وفي أي مكان على سطح الأرض لتحديد الموقع.

٤-٣ وصف النظام

يتكون نظام الأقمار الصناعية GPS من ثلاثة أقسام رئيسية: الأول منها هو مجموعة الأقمار الفضائية والتي تدور حول الأرض Satellite Constellation، والقسم الثاني هو محطات التحكم والمتابعة الأرضية التي تتحكم في تشغيل وإدارة النظام بالكامل، أما القسم الثالث فهو عبارة عن أجهزة الاستقبال التي تستخدم في الأغراض المختلفة لتحديد الموقع وتحليل بيانات الموقع المرصود.

ونظام GPS هو نظام ملاحي يصف معلومات دقيقة لتحديد الموقع في الأبعاد الثلاثية (3D) ويعمل تحت إدارة وإشراف وزارة الدفاع الأمريكية (DoD) وقد تم تصميمه أساساً للاستخدام العسكري ثم أتيح استخدامه للأغراض المدنية وفقاً لضوابط معينة توفر دقة أقل في تحديد الموقع مقارنة بالدقة التي يوفرها النظام للمستخدمين الرئيسيين أو العسكريين؛ ويوضح الشكل (٤-١) الأقسام الرئيسية لنظام الأقمار الصناعية GPS.

وتعتمد فكرة النظام على قياس المسافات بين القمر الصناعي والراصد على سطح الأرض وذلك بقياس الزمن الذى تستغرقه الإشارة الراديوية التى يبثها القمر حتى تصل إلى جهاز الاستقبال باستخدام سرعة انتشار الموجات اللاسلكية في الفراغ (Vacuum) والتى منها يمكن معرفة المسافة. ويلاحظ في هذا القياس أنه أحادى المسار أي أننا نقيس المسافة في اتجاه واحد فقط وهو من القمر الصناعي وحتى مكان الراصد، وحيث أن وقت الإرسال غير معلوم والساعة التى يستخدمها جهاز الاستقبال ليست بالدقة الكافية مثل الساعات الذرية التى تحملها الأقمار، فإن المسافة المقاسة تسمى شبه المسافة Pseudo Range أو المسافة الحسابية. ويمكن استخدام النظام في أي مكان على سطح الأرض وبشكل مستمر ومستقل عن الظروف الجوية والمناخية.

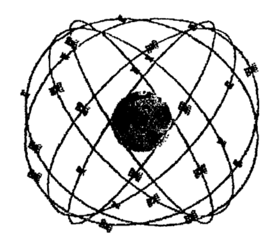


شكل (٤-١): الأقسام الرئيسية لنظام الملاحة بالقمار الصناعية GPS

وتتكون مجموعة الأقمار من ٢٤ قمر موزعة حول الأرض على ست مدارات شبه كروية تدور حول الأرض ويحتوى كل مدار علي أربع أقمار تفصل بينها مسافات متساوية ويبلغ ارتفاع المدار حوالى ٢٠٢٠٠ كيلومتر من سطح الأرض. وتميل هذه المدارات على مستوى خط الاستواء بمقدار ٥٥° وتبلغ فترة دورانها فى مداراتها حوالي ١٢ ساعة، ويوفر هذا الارتفاع الكبير لمدار الأقمار دائرة إسقاط كبيرة يبلغ نصف قطرها حوالي ٨٠٠٠ كيلومتر كما أن فترة الدوران التى تبلغ ١٢ ساعة تتيح فترة طويلة لبقاء الأقمار فوق أفق الراصد وتبلغ في أقصي قيمة لها حوالي ٤ ساعات عندما يمر القمر فوق سمت الراصد مباشرة. ويؤمن التوزيع الهندسى للأقمار تغطية شاملة للكرة الأرضية يوجد حوالي ٩ أقمار فى سماء الراصد فى أي مكان على سطح الأرض يستخدم منها الراصد ٤ أقمار يمكن رصدها آنياً Simultaneously لتحديد الموقع. ويوضح الشكل (٤-٢) مجموعة الأقمار الصناعية GPS فى مداراتها الستة والموزعة هندسياً حول الأرض.

ويعتمد مبدأ الملاحة الأساسي في نظام GPS على قياسات آنية لأشباه المسافات Pseudoranges بين المستخدم وبين أربعة أقمار، حيث يمكن تعيين إحداثيات الراصد انطلاقاً من إحداثيات القمر الصناعي المعروفة في إطار مرجعي مناسب، ومن وجهة نظر هندسية بحتة يكفي قياس المسافات إلى ثلاثة أقمار فقط، ولكن قياساً رابعاً يبقى ضروري لأن نظام GPS يستخدم طريقة (One-Way Ranging Technique) أي قياس المسافة باتجاه واحد، وحيث أن ساعة أجهزة الاستقبال ليست متزامنة مع ساعات القمر فإن خطأ تزامن تلك الساعتين هو سبب تسمية (أشباه المسافات) ويجب تعيينه كمجهول إضافي ضمن معادلات قياس المسافات.

ولقد تم تصميم نظام GPS للحصول لحظياً وفورياً Real Time، على دقة ملاحية تتراوح بين 10± إلى 15±، ومن الممكن أن يؤمن هذا النظام قياسات جيوديسية بدقة عالية جداً باستخدام أجهزة استقبال خاصة تعتمد على قياسات اختلاف الطور في تحديد المسافة بين الراصد والأقمار الصناعية.



GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

شكل (٤-٢) منظومة أقمار الملاحة GPS

٤-٣-١ القسم الفضائي Space Segment

تعتبر مجموعة الأقمار الفضائية أهم أقسام النظام، وقد تم إنتاج خمسة مجموعات مختلفة من مجموعات الأقمار الصناعية تختلف في خصائصها وفي الإمكانيات المتاحة لكل منها.

أولاً: مجموعة الأقمار الصناعية Block I

تتكون هذه المجموعة من ١١ قمراً في المجموعة ويزن كل منها حوالي ٨٤٥ كيلوجرام وقد أطلقت أقمار هذه المجموعة خلال الفترة من ١٩٧٨ إلى ١٩٨٥ من القاعدة الفضائية من فاندنبيرج بكاليفورنيا، ومتوسط فترة التشغيل التصميمية لهذه الأقمار يبلغ ٤,٥ سنة، وقد خرج آخر أقمار هذه المجموعة من الاستخدام في ٢٧ فبراير ١٩٩٤ وكانت المجموعة تعاني من مشاكل في ضعف الطاقة والتي تسببت بالتالي في خروج الأقمار عن مداراتها. ويوضح الجدول رقم (٤-١) تواريخ إطلاق أقمار المجموعة الأولى Block I وأسباب خروجها من الخدمة.

جدول (٤-١)

تواريخ إطلاق أقمار المجموعة Block I وأسباب خروجها من الخدمة

Block I Satellites						
Flight	PRN No.	Launch Date	Available since	Loss of Navigation	Reason of Loss	Operational (months)
1	04	22.2.78	29.3.78	25.1.80	Clock	21.9
2	07	13.5.78	14.7.78	30.8.80	Clock	25.5
3	06	6.10.78	9.11.78	19.4.92	Clock	161.3
4	08	11.12.78	8.1.79	27.10.86	Clock	93.6
5	05	9.2.80	27.2.80	28.11.83	Wheels	45.0
6	09	26.4.80	16.5.80	10.12.90	Wheels	126.8
7	-	18.12.81	-	-	Booster	-
8	11	14.7.83	10.8.83	4.5.93	Power	116.8
9	13	13.6.84	19.7.84	25.2.94	Power	115.2
10	12	8.9.84	3.10.84	-	-	-
11	03	9.10.85	30.10.85	27.2.94	Signal	99.9

ثانياً: مجموعة الأقمار الصناعية Block II, Block IIA

صممت هذه المجموعة كأول منظومة للقمار الصناعية تعمل كوحدة متكاملة وتتألف من ٢٤ قمر صناعي، أول قمر من هذه المجموعة بلغت تكلفته التقريبية ٥٠ مليون دولار وبلغ وزنه ١٥٠٠ كجم وأطلق من مركز كينيدى لعلوم الفضاء من كيب كانافيرال، فلوريدا فى ١٤ فبراير ١٩٨٩ وذلك باستخدام صاروخ McDonnell Douglas Delta2 وآخر قمر أطلق فى ٣ مارس ١٩٩٤.

وتحتوى المجموعة الثانية (Block IIA) (الرمز A يعنى الفئة المتطورة Advanced) على أجهزة اتصالات وأجهزة قياس بالليزر، وأول قمر من هذه الفئة أطلق فى ٢٦ نوفمبر ١٩٩٠. ويوضح الجدول (٤-٢) أرقام وتواريخ إطلاق هذه المجموعة من الأقمار (Block IIA المجموعة الثانية).

جدول (٤-٢)

تواريخ إطلاق أقمار المجموعة Block IIA

Block IIA Satellites				
Flight No.	PRN No.	Launch Date	Available since	Operational (months)
21	23	26.11.90	10.12.90	E4
22	24	3.7.91	30.8.91	D1
23	25	23.2.92	24.3.92	A2
24	28	9.4.92	25.4.92	C2
25	26	7.7.92	23.7.92	F2
26	27	9.9.92	30.9.92	A3
27	32	22.11.92	11.12.92	F1
28	29	18.12.92	5.1.93	F4
29	22	2.2.93	4.4.93	B1
30	31	30.3.93	13.4.93	C3
31	07	13.5.93	12.6.93	C4
32	09	26.6.93	21.7.93	A1
33	05	30.8.93	28.9.93	B4
34	04	26.10.93	29.11.93	D4
35	06	3.3.94	28.3.94	C1

وتبلغ الحياة التصميمية لأقمار هذه المجموعة حوالي سبع سنوات، وتستمد طاقتها الكهربائية بواسطة أجنحة استقبال الطاقة الشمسية والتي تبلغ مساحة سطح كل منهما ٧,٥ متر مربع بالإضافة إلى وجود بطاريات إضافية لتأمين الطاقة أثناء تواجد القمر الصناعي في منطقة ظل الأرض. ولكل قمر نظام دفع ذاتي لحفظ مكانه في المدار حيث يتغير المدار كل عدة أسابيع نتيجة للمؤثرات الخارجية مثل اختلاف الجاذبية الأرضية ومقاومة الهواء وضغط المجموعة الشمسية. ويحمل كل قمر مولدات موجات (ساعات ذرية دقيقة Frequency Standards واحدة من نوع الروبيديوم Rubidium واثنين من السيزيوم Cesium.

ثالثا: مجموعة الأقمار الصناعية Block IIR

بدأ تطوير أقمار الفئة IIR عام ١٩٩٦، وهي أقمار مزودة بإمكانية قياس المسافات بينها وبين أقمار أخرى لحساب إحداثيات كل أقمار المجموعة مباشرة، ومن ثم إرسالها إلى محطات المراقبة الأرضية والتي تقوم بدورها بتصحيح مسار القمر في حالة انحرافه عن مساره. وتزن أقمار هذه المجموعة حوالي ٢٠٠٠ كجم وبتكلفة تفوق ما كلفته المجموعة الثانية Block II بمرة ونصف.

رابعا: مجموعة الأقمار الصناعية Block IIF

من المخطط أن يتم إطلاق أقمار المجموعة Block IIF في الفترة ما بين عامي ٢٠٠١ و٢٠١٠، ويقصد بالرمز (F) المجموعة اللاحقة والتي سوف تحمل إمكانيات متطورة.

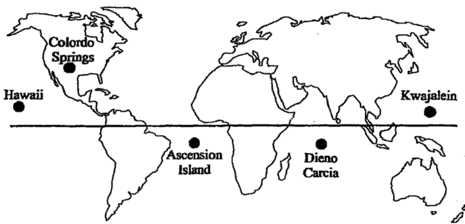
٤-٣-٢ قسم التحكم Control Segment

يتألف قسم التحكم الفعال حاليا Operational Control Segment (OCS) لنظام GPS من (Master Control Station-MCS) أي محطة التحكم الرئيسية في كولورادو سبرنج Colorado Springs USA، وخمس محطات مراقبة Monitor Station MS وهوائيات أرضية في كل من كولورادو سبرنج، جزيرة هاواي Hawaii، جزيرة اسينشن Ascension، كواجالين Kwajalein ودييجو جاركيا Diego Garcia؛ ويوضح الشكل (٤-٣) أماكن تواجد تلك المحطات حول العالم.

وتتلخص عمليات محطات التحكم في مراقبة وتتبع حركة القمار في مداراتها وتجديد المعلومات الملاحية وتعيين الوقت.

وتستقبل محطات المراقبة إشارات الأقمار وتحسب منها أشباه المسافات لكل الأقمار المرصودة وترسل معطيات أشباه المسافات كل ١,٥ ثانية وكذلك يتم إرسال معطيات عن قياسات الأحوال الجوية Meteorological Data المحلية كل ١٥ دقيقة إلى محطة التحكم الرئيسية MCS وتستخدم تلك المعطيات لإعادة حساب المواقع اللاحقة للأقمار Satellite Ephemeris

وسلوك ساعاتها ودقة المعلومات الملاحية Navigation Messages وترسل المعطيات الناتجة إلى الهوائيات الأرضية ليتم إرسالها إلى الأقمار عندما تمر فوق إحدى محطات المتابعة وذلك بواسطة ترددات على النافذة (S) المخصصة للاتصالات بين القمر وبين محطات المتابعة الأرضية والتى يبلغ مقدارها ١٧٨٣,٧٣ ميجا هرتز.



- All Five Stations are Monitor Stations
- Ascension, Diego Garcia and Kwajalein are Upload Stations
- Colorado Springs is Master Control Station

شكل (٤-٣): محطات المتابعة والتحكم الأرضية لنظام GPS

ونظرا لتوزع محطات المتابعة الأرضية، فهناك على الأقل ثلاث اتصالات يوميا بين قسم التحكم وبين كل قمر من الأقمار ويحقق التوزيع الجغرافى لمحطات المراقبة متطلبات نظام ملاحى فعال.

٤-٣-٣ قسم المستخدم User Segment

يقصد بالمستخدم أجهزة الاستقبال المستخدمة فى التقاط إشارات أقمار GPS، وهناك أنواع عديدة من أجهزة الاستقبال تصنف حسب المستخدمين وحسب نوع القياس.

ونظام GPS هو بالأساس نظام ملاحى عسكرى تديره وزارة الدفاع الأمريكية U.S Department of Defense (DOD)، وبناءا عليه فهو

يحقق أغراضا أمنية أمريكية. لذلك فقد أعلن منذ البداية بأن المستخدمين المدنيين للنظام سوف يتمتعون فقط بدقة محدودة للنظام (C/A)؛ والخدمة المهيأة للمستخدمين المدنيين تدعى خدمة الموقع المعيارية Standard Positioning Service (SPS)، بينما الخدمة المهيأة للمستخدمين أصحاب الترخيص (غالبا العسكريين) تدعى خدمة الموقع الدقيقة Precise Positioning Service (PPS) وتبلغ دقة الموقع المعياري ثنائية الأبعاد حوالى ١٠٠ متر في ظل وجود الخطأ المتعمد (SA) والذي تم رفعه عام ٢٠٠٠، وفي حالة عدم وجوده حاليا تبلغ الدقة (٢٠-٢٥) متر، أما فيما يخص الخدمة الدقيقة PPS فتصل إلى حدود (٥-١٥) متر للموقع ثلاثي الأبعاد.

وتصنف أجهزة الاستقبال على أساس نوع القياس الممكن الحصول عليه إلى:

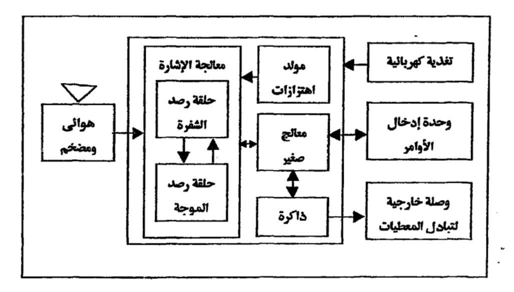
- أجهزة استقبال للشفرة C/A-code Carrier Receiver C/A-code
- أجهزة استقبال للشفرة C/A-code + طور الموجة الأولى L1
- أجهزة استقبال الشفرة C/A-code + طور الموجة الأولى L1 + طور الموجة الثانية L2 (P-Y code).

٤-٣-٤ مكونات أجهزة الاستقبال Receiver Design

يتكون جهاز الاستقبال من ستة أجزاء رئيسية وهي:

- هوائي مع مضخم إشارة Antenna and Amplifier
- وحدة التردد الراديوى Radio Frequency مع التعرف على الإشارة ومعالجتها Microprocessor
- مولد ترددات دقيق Oscillator
- وحدة تأمين طاقة كهربائية Power Supply
- وحدة تدخل المستخدم (إعطاء أوامر وشاشة)
- وحدة ذاكرة وتخزين القياسات Storage Device.

ويوضح الشكل (٤-٤) تصميم ومكونات جهاز الاستقبال.



شكل (٤-٤): مكونات جهاز الاستقبال

يقوم الهوائي باستقبال الإشارة الصادرة من القمر الصناعي ويحول طاقة الإشارة إلي تيار كهربائي ويضخم الإشارة ويرسلها إلى القسم الإلكتروني لجهاز الاستقبال حيث يقوم المعالج الدقيق Microprocessor باستقبال الإشارة ومعالجتها وفك شفرة المعلومات المبثوثة بالإضافة إلي الحساب الفوري للمواقع والسرعة وتعيين معلومات لنقاط الطريق Waypoint (فى الملاحة). يقوم مولد الترددات Oscillator بتوليد التردد المرجعي في جهاز الاستقبال ويكفي بشكل عام وجود مولد ترددات عادي (من الكوارتز) لأن معلومات الوقت الدقيقة يتم الحصول عليها من القمر مباشرة.

ومن أجل المعالجة اللاحقة للمعطيات يجب أن تخزن القياسات والمعطيات في ذاكرة داخلية أو خارجية، كما أن المعالجة اللاحقة للمعطيات ضرورية في حالات القياسات على عدة محطات في عدة قياسات آنية وهذا يتم في التطبيقات الجيوديسية والمساحية، حيث يتم تسجيل كل من أشباه المسافات وحالة الطور والمعلومات الملاحية والزمنية.

أما بخصوص التغذية الكهربائية لأجهزة الاستقبال فإنها تحتاج إلى تيار مستمر يتراوح بين ١٠-٤٠ فولت ويتم تصميمها بحيث يكون استهلاكها الكهربائي طفيف قدر الإمكان. وتحتوى أغلب الأجهزة الحديثة على

بطاريات داخلية قابلة للشحن بالإضافة إلى إمكانية التغذية الكهربائية الخارجية.

٤-٣ الحد من دقة النظام Limitation of the System Accuracy

هناك طريقتان للحد من دقة أرصاد GPS اعتمدتها وزارة الدفاع الأمريكية، وكان الغرض منها حصر الاستخدام الدقيق لقياسات GPS لفئة معينة وهم العسكريين ومن لهم تصريح بالاستخدام الدقيق لقياسات Authorized Users of GPS، وهما طريقة ضد التشويش Anti Spoofing (AS) وطريقة الإتاحية المختارة Selective Availability (SA). وكلا الطريقتين تنتجان أخطاء متعمدة في البيانات التي ترسلها الأقمار الصناعية.

والطريقة الأولى (AS) تتضمن تشويش مقصود للشفرة الدقيقة P-code حيث تسمى عندها الشفرة المحمية Y-code ويزود المستخدمون أصحاب الترخيص فقط بوسيلة للدخول إلى الشفرة الدقيقة.

أما الطريقة الثانية (SA) فهي طريقة الأخطاء المتعمدة من قبل وزارة الدفاع الأمريكية لتخفيض دقة تحديد الموقع بواسطة الإشارة المدنية C/A حيث تصل الدقة في المسافة الأفقية إلى حوالي ١٠٠ متر و١٥٦ متر في المسافة الرأسية والتي تم وضع قيمتها عند الصفر في مايو ٢٠٠٠ إلا أن إمكانية تشغيلها مازالت قائمة إذا رأت الولايات المتحدة ضرورة في ذلك.

ويرجع السبب في حذف الأخطاء المتعمدة إلى التوجه الأوروبي في تنفيذ مشروعهم الملاحي الكبير جاليللو والتي رأت الولايات المتحدة أنه من الضروري تحسين أداء نظام GPS بإلغاء الإتاحية الاختيارية (SA) وإضافة تردد إضافي مستقبلا حتى تظل محتفظة بعملائها من المستخدمين لنظام GPS في مواجهة المنافسة الأوروبية المحتملة.

٤-٤ مدارات الأقمار Satellite Orbits

لتحديد الإحداثيات الملاحية يحتاج المستخدم إلى معرفة مباشرة لمواقع الأقمار الصناعية وكذلك معلومات عن الزمن ويتم ذلك بواسطة معلومات المدار أو الرسالة الملاحية Navigation Message، وتحسب هذه المعلومات الملاحية في قسم التحكم (Control Segment) وتبث إلى المستخدمين عن طريق الأقمار الصناعية.

ويتم الحصول على التقويمات المرسلة على مرحلتين، في المرحلة الأولى يتم فيها حساب التقويمات المرجعية Ephemeris وذلك اعتمادا على قياسات مدتها سبعة أيام من محطات المراقبة الخمسة باستخدام برامج خاصة لحساب المدارات، وفي المرحلة الثانية يتم حساب الفروقات بين القياسات الراهنة في محطات المراقبة وبين التقويمات المرجعية، وتعالج هذه المعلومات للحصول على تصحيحات للتقويمات المرجعية لكل الأقمار وفي كل محطات المراقبة، والسبب في وجود تصحيحات لهذه القياسات يعود لوجود أخطاء ناتجة عن تأخير انتشار الموجات خلال طبقة الأيونوسفير Ionosphere وطبقة التروبوسفير Troposphere وكذلك التأثيرات النسبية Relativistic Effects الخاصة بساعة القمر.

٤-٥ حساب زمن القمر الصناعي وإحداثياته

يتم تمييز زمن GPS برقم الأسبوع ورقم الثواني الجارية منذ بداية الأسبوع، ولذلك يتراوح الزمن بين صفر في بداية الأسبوع و٦٠٤٨٠٠ عند نهاية الأسبوع، كما أن الزمن الصفري للنظام هو نقطة بداية اعتماده، وهو ٥ أغسطس من عام ١٩٨٠ في تمام الساعة صفر منتصف الليل في مقياس الزمن الدولي، وزمن GPS هو مقياس زمني مستمر تتم معايرته مع الساعة في محطة التحكم الرئيسية MCS، ويجري تعديل مقياس الزمن الدولي كل سنة بإضافة ثانية واحدة له؛ ومن ناحية أخرى فإن ساعة محطة التحكم الرئيسية MCS لها انحرافات دقة خاصة بها ولذلك فهذين المقياسين (زمن ساعة محطة التحكم وزمن ساعة القمر) غير متطابقين. ويتم مراقبة الفرق بين

المقياسين الزمنيين باستمرار بواسطة قسم التحكم ويتم إرساله للمستخدمين عن طريق المعلومات الملاحية.

٤-٦ تحديد الموقع Position Fixing

لقد اثبت نظام الأقمار الصناعية GPS نجاحه فى توفير دقة عالية جدا فى تحديد الموقع تحت مختلف الظروف وبصفة مستمرة سواء كان ذلك باستخدام قناة واحدة (L1) أو استخدام كلا القناتين على الكود العادى (C/A) والكود الدقيق (P).

ولتحديد الموقع فإنه كغيره من الأنظمة الملاحية وفقا لأسس الملاحة وتحديد الموقع يجب أن نحصل على أكثر من خط موقع أو مستوى لرصد الأقمار الصناعية؛ وحيث أن تحديد الموقع فى هذا النظام يعتمد على القياس الآنى (Simultaneous) الذى يرصد فيه الأقمار فى نفس الوقت، فإنه للحصول على إحداثيات الموقع أي خط الطول وخط العرض فإنه يلزم رصد ثلاث أقمار فى آن واحد على الأقل، وإذا رصدت أربعة أقمار فإن ذلك سوف يمكننا من تحديد الارتفاع. ويجب أن تتوافر فى الأقمار التى يتم رصدها الشروط الملاحية المناسبة كأن يكون القمر المرصود على ارتفاع زاوى فوق الأفق يزيد عن ٧ درجات وأن تكون الإشارة قوية حتى يمكن للجهاز متابعتها وأن تكون مجموعة الأقمار المستخدمة توفر قدرا كبيرا من اعتمادية الموقع Position Dilution of Precession (PDOP).

ويجب أن تتوافر فى جميع الحالات إمكانية قياس الزمن أو التزامن بين إرسال إشارات القمر واستقبال هذه الإشارات بجهاز الاستقبال. وإذا أمكن تحديد الموقع والزمن فإنه أيضا يمكن حساب السرعة الفعلية للسفينة أو الطائرة أو المركبة المتحركة بدقة عالية بمعرفة المسافة بين موقعين متتاليين والزمن بينهما يمكن الحصول على السرعة وبذلك تكتمل العناصر المطلوبة لإجراء العمليات الملاحية وهي الموقع والزمن والسرعة والتى منها يمكن حساب خطوط السير والاتجاهات ومسافات نقاط المحاور Way Points ويمكن برمجة أعمال الملاحة لفترات طويلة ومراحل متعددة.

وفيما يتعلق بوحدات الإرسال والتخزين والاستقبال وطبيعة المعلومات التى يبثها القمر الصناعى، فإنه يتم متابعتها دوريا فى كل مرة يمر بها القمر الصناعى فوق محطات المتابعة الأرضية والمحطة الرئيسية فى الولايات المتحدة وهو ما يضمن استمرارية الإرسال من القمر الصناعى للبيانات والمعلومات اللازمة لأعمال الملاحة وهي إحداثيات القمر فى مداره (x, y, z). أما أجهزة الاستقبال فإن دقتها وكفاءتها وسرعة إنجازها للأعمال الحسابية اللازمة لتحديد الموقع وقدرتها على حساب الزمن بين الإرسال والاستقبال ودرجة الاستقرار فى المذبذبات المحلية بها فإنها تتوقف بالطبع على الغرض من الاستخدام وعلى نوع الجهاز المستخدم والكود المستعمل والشركة المنتجة لجهاز الاستقبال.

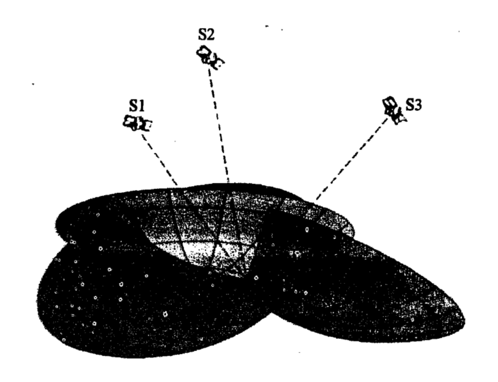
ولكن بوجه عام فقد أثبتت التجارب والاستخدامات العديدة فى السنوات القليلة الماضية أن النظام الملاحى GPS والذى يشتمل على جميع العناصر من أقمار صناعية ومحطات رصد ومتابعة أرضية وأجهزة استقبال وهوائيات ونظريات وتكنولوجيات مستخدمة فى القياس، أثبت هذا النظام قدرة فائقة على تحديد الموقع وإقناع الملاحين فى الاعتماد عليه فى العمليات الملاحية وتحديد الموقع لجميع الأغراض العسكرية والمدنية وأغراض المسح البحرى والمدنى وفى أعمال التنقيب عن البترول وفى جميع الأعمال التى تتطلب دقة عالية فى تحديد إحداثيات الموقع والتى قد تصل إلى عدة سنتيمترات.

٤-٧ المسافة المسابية (المدى الظاهرى) Pseudorange

يتم تعيين الموقع الجغرافى المطلق على سطح الأرض بقياس المسافة الحسابية المباشرة بين موقع القمر الملاحى وموقع الراصد على سطح الأرض، ويتم تحديد الموقع بالتقاطع الجيومترى لمستويات الموقع Position Planes التى نحصل عليها من ثلاثة أو أربعة أقمار ملاحية فى آن واحد. ويتم قياس المدى الظاهرى بحساب الفترة الزمنية التى تقطعها الإشارة بين القمر وجهاز الاستقبال، وبمعرفة سرعة انتشار الموجات اللاسلكية يمكن حساب المدى الظاهرى (الغير حقيقى).

فإذا كان الراصد يقف عند نقطة تقع على بعد ٢٠٠٠٠ كيلومتر من القمر الأول، فهو في هذه الحالة يوجد على نقطة على سطح قطع كروى أي على جزء من قشرة كرة وهمية أو فراغية مركزها القمر الصناعى الأول ونصف قطرها طوله ٢٠٠٠٠ كيلومتر، وإذا قام الراصد بتعيين نقطتين آخرين على قطعين كرويين كلاهما على سطح كرة وهمية مركز أحدهما القمر الصناعي الثاني ومركز الأخرى القمر الصناعي الثالث، فبذلك يكون الراصد قد حصل على ثلاث كرات وهمية مراكزها هي مواقع الأقمار الصناعية الثلاثة في مداراتها، ويمكن في هذه الحالة تحديد الموقع بنقطة تقاطع سطوح تلك الكرات الثلاثة وتكون نقطة التقاطع هي موقعه على سطح الأرض أو منسوبا لمركز الكرة، أي أن رصد قمر واحد يعطى كرة موقع ثلاثية الأبعاد ورصد قمرين يعطى دائرة موقع مسطحة ثنائية الأبعاد ورصد ثلاث أقمار يعطى نقطتين للتقاطع أحدهما هي موقع الراصد.

ويوضح الشكل (٤-٥) مقاطع الموقع الكروية لثلاثة أقمار على الأقل يلزم تواجدهم فوق سماء الراصد وألا يقل ارتفاعهم الزاوى عن ٧ درجات حتى نتجنب تأثير الانكسار عند مرور الموجات اللاسلكية في الطبقات المؤينة، كما يلاحظ أن رصد قمرين فقط لا يحدد الموقع حيث نحصل على مستوى دائرى من تقاطع المقاطع الكروية للقمرين على خلاف ما هو مطلوب في أعمال المساحة الساحلية حيث يكفي خطان للموقع لتحديد موقع الراصد على خريطة ورقية في مستوى واحد له إحداثيين (x, y)، فإن مقاطع الموقع الناشئة عن رصد الأقمار الصناعية وقياس بعدها (Range) تعطى موقعا فراغيا في ثلاث محاور (x, y, z) ولذلك فإنه يلزم على الأقل رصد ثلاث أقمار حتى يمكن استنتاج نقطة واحدة لتقاطع هذه المقاطع والتى تحدد موقع الراصد.



شكل (٤-٥): ثلاثة قطاعات للموقع

ولتحديد الموقع فإن جهاز الاستقبال يقوم بعدة قياسات لأربعة أقمار في آن واحد. فعندما تقوم الأقمار بإرسال شفرة خاصة بصورة منتظمة فإن جهاز الاستقبال يقوم بتوليد صورة مطابقة من هذه الشفرة. وعلى الرغم من أن الشفرتين متطابقتان في الطول إلا أنهما مختلفتان في الوجه أو الطور، وهذا الاختلاف الزاوي الطوري يعمل على قياس زمن الانتشار الذي تستغرقه الإشارة في رحلتها من القمر حتى يصل إلى مكان الراصد. ويعبر عن اختلاف الطور باختلاف الوقت أو تأخير الوقت (Δt) بين وقت الإرسال ووقت الاستقبال وتكون محصلة زمن الانتشار (Δt) وسرعة الانتشار (c) هي المسافة الحسابية أو الظاهرية (Pseudorange) بين موقع القمر في مداره والراصد على سطح الأرض، وهي مسافة غير دقيقة بالطبع لأن الساعات التي تستخدم في قياس الزمن بجهاز الاستقبال لدى الراصد ليست دقيقة بنفس القدر من الدقة التي تعمل بها الساعات الذرية الموجودة بالقمر الصناعي

ولذلك نتوقع وجود خطأ فى مقدار المسافة الحسابية المقاسة ويرمز لقيمة الخطأ فى ساعات جهاز الاستقبال بالرمز (Δtu). غير أن ذلك ليس كل الخطأ الذى يؤثر على حساب المسافة بين القمر وبين الراصد ولكن هناك خطأ آخر ناتج عن انكسار الموجات اللاسلكية أثناء مرورها فى طبقات الجو المؤينة (Δti).

٤-٧-١ قياس المسافة الحسابية (شبه المسافة) Pseudorange Measurement

تقاس المسافات بين مكانين بمعرفة السرعة والزمن، ولمعرفة المسافة بين الأقمار الصناعية وبين الراصد فإنه يتعين معرفة الفترة الزمنية التى تقطع فيها الإشارة المسافة من موقع القمر فى مداره إلى موقع الراصد على سطح الأرض. وحيث أن قياس الزمن يتم من طرف واحد فقط وهو موقع الراصد، فإن معرفة الزمن التقريبي يتم تحديده عن طريق مقارنة إشارة كودية صادرة من القمر مع إشارة كودية مماثلة يتم توليدها داخل جهاز الاستقبال. ولأن الإشارة تتعرض للإنكسارات أثناء مرورها بالطبقات المؤينة، فإن الفترة التى يمكن قياسها تكون فى جميع الأحوال أكبر من الفترة المباشرة للخط المستقيم أو المسافة المباشرة بين الراصد والقمر وبذلك فإنه ينتج عن انتشار الإشارة فى الغلاف الجوى تأخير للوقت تتبعه زيادة فى المسافة الحسابية تعادل هذه الزيادة في الوقت، أي أن المسافة المقاسة بين الراصد وبين القمر (شبه المسافة) لن تكون دقيقة بأي حال للأسباب التالية:

أ- تعرض الإشارات للإنكسار أثناء مرورها فى الطبقة المؤينة، ويزداد الخطأ الناشئ عن الانكسار عندما يتم رصد القمر على ارتفاع زاوى منخفض أي بالقرب من الأفق.

ب- الاختلاف في سرعة انتشار الموجات اللاسلكية أثناء مرور الإشارة فى طبقة التروبوسفير الملاصقة لسطح الأرض، ويزداد الخطأ الناشئ عن هذه الطبقة أيضا عندما يكون الارتفاع الزاوى للقمر منخفضا.

ج- عدم دقة ساعات القياس بأجهزة الاستقبال والتى تختلف من جهاز لآخر وتصنع من مركبات مختلفة وهي بالطبع أقل كثيرا فى الدقة من أجهزة قياس الوقت التي تحملها الأقمار الصناعية.

د- وجود خطأ ساعات الأقمار، وعلى الرغم من أن قيمة هذا الخطأ أو الانحراف يكون صغيرا جدا، إلا أنه يؤثر سلبيا على دقة المسافة المقاسة. ويوضح الشكل (٤-٦) مقارنة بين المسافة الحقيقية والمسافة الظاهرية بين الراصد والقمر.

ويمكن التعبير عن المسافة الحسابية (PR) بالمعادلة التالية:

$$PR = R + C\,(\Delta t_i) + C\,(\Delta t_t) + C\,(\Delta t_s - (\Delta t_u)$$

حيث: PR = المسافة الحسابية أو شبه المسافة

R = المسافة الحقيقية (الخط المستقيم بين القمر والراصد)

C = سرعة الانتشار في الفراغ

Δt_i = تأخير الإشارة في طبقة الأيونوسفير

Δt_t = تأخير الإشارة في طبقة التروبوسفير

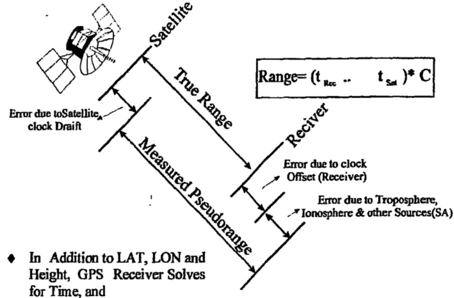
Δt_s = خطأ الساعات الذرية بالقمار الصناعية

Δt_u = خطأ ساعات القياس بأجهزة الاستقبال.

كما يمكن اعتبار مجموعة الأخطاء في الوقت والتي ينتج عنها زيادة في المسافة بالقيمة (b) والتي تغير من أخطاء الوقت وبالتالي فإن معادلة المسافة الحسابية تصبح كالآتي:

$$PR = R + b$$

حيث (b) هي الخطأ في المسافة والناتج عن مجموعة أخطاء تأخير الوقت.



- In Addition to LAT, LON and Height, GPS Receiver Solves for Time, and
- Adjusts for Clock Offset and Drift, Tropospheric and Ionospheric Refraction (SA: Military GPS Only!)

شكل (٤-٦):

٤-٧-٣ قياس المسافة الحقيقية (R)

يوضح الشكل (٤-٧) (a) الإحداثيات للنقطة (P_1) وإحداثيتها هي (x_1, y_1) وبعدها عن المركز يعبر عنه بالقيمة (r_1) حيث:

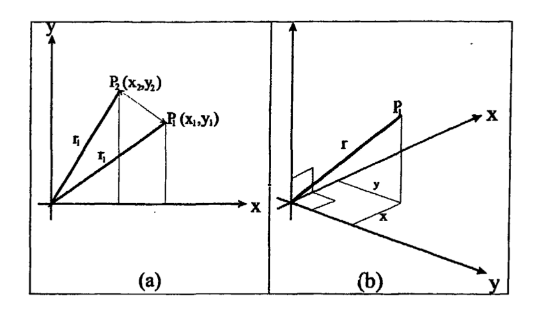
$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$$

وأيضاً فإن النقطة (P_2) إحداثيتها هي (x_2, y_2) وبعدها عن المركز يعبر عنه بالقيمة (r_2) حيث:

$$r_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}$$

أما المسافة المباشرة بين النقطتين (P_1) و(P_2) فإنها تتحدد بالفرق بين إحداثيات كل من النقطتين، أي أن:

$$r_2 - r_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$



شكل (٤-٧):

وبالمثل في الشكل (٤-٧) (b) الذي يمثل الإحداثيات لنقطة منسوبة إلى الأبعاد الثلاثية (الفراغية) x, y, z، فإن بعد النقطة (P_1) عن المركز يكون:

$$P_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}$$

وإذا كان هناك نقطتان (P1) و(P2) فإن المسافة بينهما تكون محصلة الفرق بين إحداثيات كل من النقطتين:

$$(P_1 - P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

ومن الإيضاح السابق يمكننا أن ننتقل إلى إحداثيات الموقع على سطح الأرض حيث يكون مركز الكرة هو مركز الإحداثيات الثلاثية الأبعاد والتي يتم إسقاطها على مستوى دائرة خط الاستواء (x, y) والمحور الرأسي التي تدور حوله الكرة الأرضية بالإحداثي (z) وبالتالي فإن أي نقطة للراصد على سطح الكرة الأرضية (P_u) يمكن تمثيلها بالإحداثيات (x_u, y_u, z_u) ويكون بعدها عن المركز مساويا:

$$P_u = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2}$$

وإذا كانت هناك نقطة فراغية أخرى وهي موقع القمر الصناعي (S)، فإن إحداثياتها منسوبة إلى مركز الكرة الأرضية تصبح (x_s, y_s, z_s).

ويوضح الشكل (٤-٨) إحداثيات كل من موقع الراصد P_u (x_u,y_u,z_u) وموقع القمر الصناعي S (x_s, y_s, z_s)، ويكون بعد الراصد عن المركز (P_u) هو:

$$P_u = \sqrt{x_u^2 + y_u^2 + z_u^2}$$

أما بعد القمر عن المركز:

$$P_s = \sqrt{x_s^2 + y_s^2 + z_s^2}$$

أما المسافة بين كل من الراصد والقمر الصناعي فهي تعادل الفرق بين إحداثيات القمر الصناعي وإحداثيات الراصد أي أن:

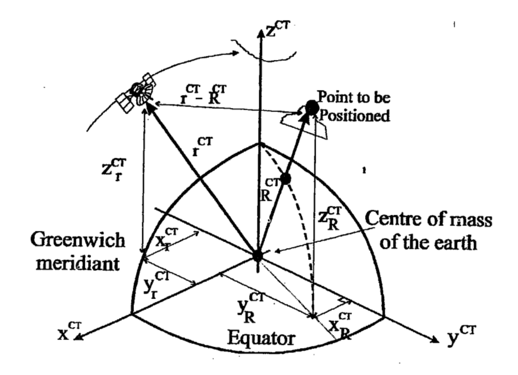
$$R = \sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2}$$

وبالتعويض عن المسافة الحقيقية (R) في معادلة المسافة الحسابية نجد أن:

$$PR = R + b$$

$$PR = \sqrt{(x_s - x_u)^2 + (y_s - y_u)^2 + (z_s - z_u)^2} + b$$

ويوضح الشكل (٤-٨) ثلاث نقاط تمثل مركز الأرض ومكان الراصد وموقع القمر ويشكل ثلث أضلاعه المسافة الأولى بين الراصد ومركز الأرض (P_u) مجهولة ويعبر عنها بالإحداثيات (x_u, y_u, z_u) والمسافة الثانية هي بعد القمر عن المركز (P_s) ويعبر عنها بإحداثيات القمر (x_s, y_s, z_s) والضلع الثالث هو المسافة بين كل من القمر والراصد (R) وهي الفرق بين إحداثيات كل من القمر والراصد.

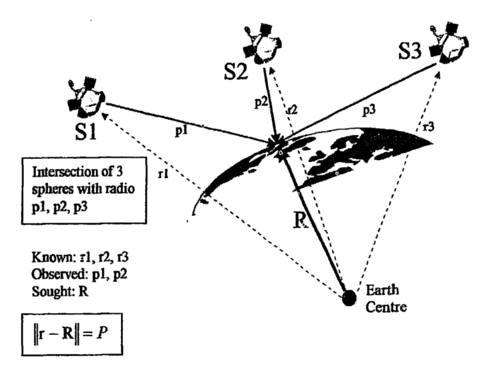


شكل (٤-٨): الإحداثيات منسوبة لمركز الكرة الأرضية

ويتضح من المعادلة السابقة أن عدد العناصر المجهولة في هذه المعادلة هي أربعة عناصر وهي عبارة عن إحداثيات الراصد (x_u, y_u, z_u) بالإضافة إلى خطأ تأخير الوقت (b)، وبالتالي فإنه يلزم لمعرفة هذه العناصر الغير معلومة قياس مسافات حسابية (PR) لأربعة أقمار آنية (في نفس الوقت) ومنها يمكن تحديد الإحداثيات الفراغية للراصد.

وبمعرفة الإحداثيات الفراغية يمكن بالطبع تحديد كل من خط الطول (α) وخط العرض (θ) حيث:

$$\tan\alpha = \frac{y_u}{x_u} \quad , \quad \tan\theta = \frac{z_u}{\sqrt{x_u^2 + y_u^2}}$$



A minimum of three satellites are needed for the 3D position unknowns. A fourth satellite is needed to solve for the GPS receiver clock bias as well. A 2D solution can be obtained by using only three satellites.

شكل (٤-٩):

ويوضح الشكل (٤-٩) موقع الرصد على سطح الأرض وموقع ثلاثة أقمار صناعية لكل منها إحداثيات مختلفة ومنها يمكن معرفة إحداثيات الراصد الثلاثية.

ويمكن في الملاحة السطحية Surface Navigation عندما تكون معرفة ارتفاع الراصد عن سطح الأرض غير ضرورية، عندئذ يمكن رصد ثلاث أقمار فقط لتحديد الإحداثيات الجغرافية خط الطول وخط العرض فقط (2D).

وهنا يجب الإشارة إلى أن دقة الموقع المرصود لا تتوقف على عدد الأقمار المرصودة، فرصد ثلاثة أقمار يعرفنا كل من خط طول وخط عرض الراصد بينما يوفر رصد أربعة أقمار نفس الإحداثيات لخط الطول وخط العرض بالإضافة إلى ارتفاع الراصد عن سطح البحر (3D).

وحيث أن موقع الراصد يقاس وفقا للمستوى الجيوديسي للأقمار GPS (WGS-84) في الأبعاد الثلاثية x, y, z فإن موقع القمر في مداره يقاس بالأبعاد ذاتها من مركز الأرض بالرصد: $x_1, \ y_1, \ z_1$ حيث (1) يرمز إلى رقم القمر المستخدم، وإذا كان لدينا أربعة أقمار صناعية يمكن رصدها في آن واحد، فسوف تتكون لدينا أربعة معادلات لكل من الأقمار (١)، (٢)، (٣)، (٤).

٤-٨ مكونات إشارة نظام GPS

ترسل البيانات الملاحية من الأقمار الصناعية (Satellite Vehicle) (SV) على ترددين من الترددات العالية جدا في الشريحة (L) وقيمة كل من الترددين ١٥٧٥,٤٢ ميجا هرتز (L_1) و١٢٢٧,٦ ميجا هرتز (L_2) ويبلغ طول الموجة الأولى ١٩ سم أما الثانية فطولها يبلغ ٢٤,٥ سم وكلا الترددان مشتقان من التردد الأساسي للقمر الصناعي والذي قيمته ١٠.٢٣ ميجا هرتز.

أي أن: التردد الأول (L_1) = (١٠,٢٣ × ١٥٤) = ١٥٧٥,٤٢ ميجا هرتز،

والتردد الثاني (L_2) = (١٠,٢٣ × ١٢٠) = ١٢٢٧,٦٠ ميجا هرتز.

ويستخدم تردد ثالث على النطاق الترددي (S) ومقداره ١٧٨٣,٧٤ ميجا هرتز والذي يخصص للاتصالات بين القمر وبين محطات المتابعة الأرضية.

ومما هو جدير بالذكر أن دقة التوقيت الزمني للأقمار الصناعية تصل إلى ٥,٢ ميكروثانية يوميا تقريبا، كما يضمن التردد الثاني من الأقمار الصناعية لأجهزة الاستقبال المزودة بأنظمة استقبال الترددين (Dual Channel) تصحيح تأخير الإشارات في طبقة الأيونوسفير أو خطأ الانكسار والذي ينشأ عن تأثير الطبقات المؤينة Ionosphere.

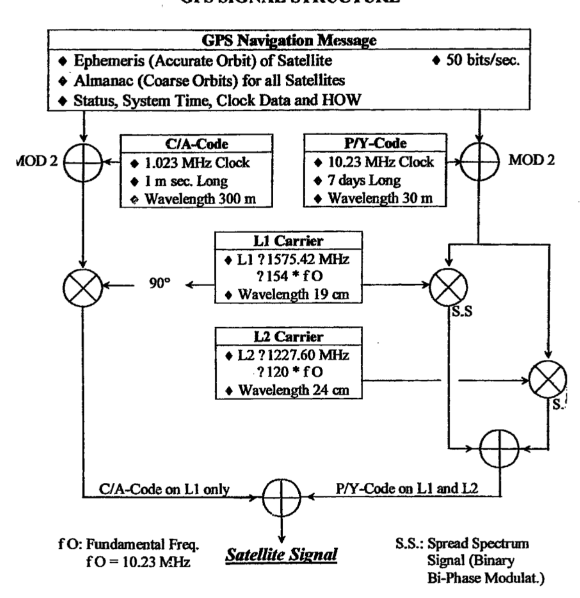
وتستخدم شفرتان لإرسال بيانات الأقمار الصناعية وتسمى الشفرة الأولى الكود العادي (C/A) Coarse and Aquire ويتم إرسالها على التردد العالي (L_1) وتخصص للاستخدامات المدنية أما الشفرة الثانية فهي الكود الدقيق (P-Code) أو الكود المحمي Protected Code ويتم إرسالها على كلا الترددين (L_1)، (L_2) وتخصص للاستخدام العسكري ويستخدم التعديل الزاوي أو الطوري (Phase Modulation) وطريقة التضمين والتشفير تساعد على مقاومة التداخلات والتشويش المتعمد كما تسمح باستخدام

طاقة إرسال صغيرة نسبيا كما يصل معدل إرسال البيانات الملاحية للقمر الصناعي إلى ٥٠ بايت في الثانية ويتم إرسال بيانات القمر على الكود العادى الأول (CA) والذى يمكن استقباله بواسطة أجهزة الاستقبال التى تستخدم فى أغراض الملاحة المدنية والأغراض المشابهة والتى لا تتطلب دقة عالية أو أهمية مميزة فى تحديد الموقع.

يبلغ تردد الشفرة الدقيقة P-Code (10.23 MHz.) والمحمل على الموجتين الحاملتين L_1، L_2 (وهو التردد الأساسى لساعة القمر الصناعى)، وهذا يعنى 10.23 مليون قيمة ثنائية (فى النظام العددى الثنائى Binary) فى الثانية Chip/Sec. ويبلغ طول الموجة المتضمنة لكل Chip حوالى ٣٠ متر ويتغير هذا الكود (الشفرة) كل ٢٦٦ يوم ويمكن لكل الأقمار أن ترسل إشارات بنفس التردد، ويعرف كل قمر نفسه بواسطة الجزء الخاص به من الشفرة الأسبوعية التى تبلغ مدتها سبعة أيام والسبب من طول الشفرة هو حمايتها بينما يبلغ تردد الكود الواضح C/A Code والمحمل فقط على الموجة الحاملة L_1 MHz 1.023، ويبلغ طول الموجة المعدلة لكل Chip به حوالى ٣٠٠ مترا، ويوضح الشكل (٤-١٠) ترددات وكود الإرسال فى نظام (GPS).

وإشارات وترددات الأقمار الصناعية، والرسائل الملاحية Navigation Message التى تبثها الأقمار إلى المستخدمين تحتوى على معلومات ضرورية لتحديد الموقع، وتقويمات الأقمار Satellite Ephemeris ووقت النظام System Time وتصحيحات ساعة القمر Satellite Clock Correction وحالة النظام System Status، هذه البيانات تبث على الموجتين الحاملتين L_1، L_2 بمعدل 50 Bits/sec.، ونتيجة لذلك يمكن لكل الأقمار أن ترسل إشارات بنفس التردد.

GPS SIGNAL STRUCTURE



شكل (٤-١٠): ترددات وكود الإرسال في نظام GPS

كما يمكن استقبال البيانات على كلا الكودين الواضح C/A والدقيق (P) للأجهزة المصرح بها (العسكرية).

ويسمح هذا الخلط بين كلا الكودين (P، C/A) بإنشاء كود جديد وهو (PRX) أو كود المدى العشوائي (Noise Pseudo Random) وهو يتكرر مرة كل ٢٦٧ يوم، كما أن كل قمر من الأقمار المكونة لهذا النظام

يغير طوره مرة كل ٧ أيام وفي منتصف الليل من كل يوم سبت من كل أسبوع حيث يتم إعادة ضبط توقيت الأقمار الصناعية (SV) على وقت النقطة الأساسية الأولى في مداره لتبدأ طور جديد مدته سبعة أيام كاملة وهكذا.

ويعرف الموقع المحدد على أساس الكود الدقيق (P) (PPS) Precise Positioning Service أما الموقع المحدد على أساس الكود العادى (C/A) فيعرف باسم Standard Positioning Service (SPS) أي التحديد القياسي للموقع.

ويخصص الكود الدقيق (P) للاستخدام غير المدنى أو الغير تجارى ويقتصر عمله فقط على الاستخدام العسكرى لوزارة الدفاع الأمريكية ولحلفاءها فى الغرب ومن غير المنتظر أن يسمح باستخدامها مدنيا فى الوقت القريب، وإذا سمح للملاحة التجارية سواء طيران أو بحرية لاستخدام الكود الدقيق (P) فإن الدقة في تحديد الموقع سوف تصل إلى أقل من ١٠ أمتار وهي دقة عالية جدا فى تحديد الموقع الدينامیکي بالمقارنة مع الأنظمة الملاحية الإلكترونية المتاحة حاليا وحتى يمكن لأي جهاز استقبال من استخدام الكود الدقيق (P) فيجب أولا أن يحصل على مفتاح شفرة أو نظام تميز (Handover Password) Encryption System حتى يسمح له باستقبال الكود الدقيق Precise (P)؛ أما أجهزة الاستقبال فتشمل قائمة البيانات التى يبثها القمر الصناعى في رسالة البيانات التى تتكرر كل ٣٠ ثانية معلومات عن موقع القمر فى المدار وتصحيح أجهزة التوقيت به وتصحيح الوقت النجمى وتقويم تاريخى لجميع الأقمار التى يتكون منها نظام GPS وبيانات عن انحرافات محور دوران الأرض وحالة أجهزة البث والاستقبال بالقمر ووقت آخر بيانات تم تغذيتها إلى القمر من محطات المراقبة الأرضية وبيانات خاصة بفتح وحدات الشفرة للكود الدقيق (P) ورقم تميز القمر وأي تحديرات أخرى عند استخدام القمر للتوقيع وتصحيحات الوقت لأجهزة الاستقبال. ويحقق الكود الدقيق (P) درجة عالية من الدقة تصل إلى (٥-١٠ متر) كما يداع

الكود علـى ترددين مختلفين L_1، L_2 ممـا يسمح بإيجـاد التصحيحـات اللازمـة للانحرافات التي تنشأ من طبقة التأين بـالغلاف الجـوى.

٤-٨-١ قياس زمن الإشارة بمتابعة الكود Code Tracking

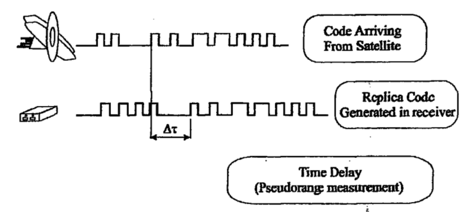
فى استخدام نظام GPS لتحديد الموقع فـى الوقت الحقيقـى Real Time أي تحديد الموقـع وتحديد الوقت الـذى تم فيـه الرصد، فإنـه يتم استخدام مقارنـة الشـفرة التـى يرسـلها القمـر مـع الشـفرة المماثلـة التـى ينتجـها جـهاز الاسـتقبال وهـي الطريقـة المسـتخدمة فـى أجـهزة GPS المسـتخدمة فـى أعمال الملاحة أو تحديد الموقـع أثنـاء الحركـة.

فإذا فرضنا أن هناك إشارتان (شفرتان) متطابقتـان فـى الطـول والشـكل والشـدة أحدهما تصدر عن القمر الصناعى والأخرى تصـدر عـن جـهاز الاسـتقبال علـى سـطح الأرض، وبفـرض ثبـات موقـع القمــر وعـدم حركـة الراصـد أو الأرض أي فـى وضـع الثبـات، فإنـه عندمـا تتطـابق كـلا الإشـارتين القادمـة مـن القمـر والصادرة عن جهاز الاستقبال فإنهما يظلا كذلـك بـدون تغير.

ولكـن حيث أن هنـاك حركـة يمثلـها تحـرك القمـر فـى مـداره وتحـرك الراصـد علـى السفينة أو الطـائرة وكذلـك حركـة الأرض، فـإن المسـافة بـين كـل مـن القمر والراصد لا تظل ثابتة بـل تتغير أيضا وتكـون المحصلـة أن كـلا الشـفرتين لـن تظـلا متطـابقتين (In Phase) وتـعتبر القيمـة الزمنيـة (أو الإزاحـة الزمنيـة الطرديـة) بـين دليـل كـود (الإشـارة) الصـادرة عـن القمـر وبـين دليـل كـود (الإشـارة) الصـادرة عـن جـهاز الاسـتقبال عـن الفـترة الزمنيـة التـى اسـتغرقتها الإشـارة للوصـول مـن القمـر الصنـاعى إلى موقـع الراصـد علـى سـطح الأرض.

ويوضـح الشـكل (٤-١١) كـلا الإشـارتين وقيمـة الفـترة الزمنيـة (Δt) التـى تـدل علـى فـترة الانتشار والتـى تستخدم فى حسـاب المسـافة الحسـابية (شـبه المسـافة) بـين القمـر والراصـد. وحيـث أن كـل مـن فـترة الشـفرة الصـادرة مـن جـهاز الاستقبال وقياس فـرق الطـور (الزمنـى) بـين كـلا الشـفرتين مـن القمـر الصنـاعى ومن جهاز الاستقبال تم تحديدهـا بأجـهزة التوقيـت بجـهاز الاسـتقبال ذو جـهاز التوقيـت (الساعة) الغـير دقيـق، فـإن المسـافة المقاسـة بالتـالى تكـون غـير دقيقـة ولذلـك تسـمى شبه المسـافة أو مسـافة حسـابية Pseudo Range.

وتبلغ قيمة الدقة الناتجة من هذا القياس ما مقداره (١/١٠٠) من طول الكود المستخدم. ففي حالة الكود العادى C/A والذى يبلغ طوله ٣٠٠ متر، فإن الخطأ يبلغ حوالى ٣ متر بينما في حالة استخدام الكود الدقيق (P) والذى يخصص للاستخدام العسكرى فإن طول الكود يبلغ ٣٠ متر وبالتالى فإن قيمة الخطأ تبلغ (١/١٠٠) من هذا الكود أي ٣٠ سنتيمتر وهذا ما يميز الدقة في القياس الدقيق (P) عن الدقة في القياس العادى C/A.



A replica of the satellite code sequence (-1 and +1 values) is generated in the receiver and aligned in time with the incoming satellite signal.

Measurement Noise

C/A Code	~ 3 m
P Code	~ 30 cm

شكل (٤-١١): مطابقة الكود

٤-٨-٣ قياس فرق الطور للموجات الحاملة Phase Carrier Measurement

في بعض الأجهزة الخاصة والتي تستخدم في تحديد الموقع الاستاتيكى أي في غير أغراض الملاحة فإنه يمكن تحديد الموقع بدقة أكبر من الدقة التي نحصل عليها من متابعة الكود العادى (C/A) أو الدقيق (P) وذلك بمقارنة الموجات الحاملة الناتجة عن (L_1) أو (L_2). وفي هذه الطريقة فإن أجهزة الاستقبال الخاصة تقوم بإصدار ترددات مشابهة للترددات الحاملة التي تصدرها الأقمار الصناعية (L_1) وقيمتها ١٥٧٥,٤٢ ميجا هرتز والتي يكون فيها طول الموجة حوالى ١٩ سم، ثم تتم مقارنة الطور (Phase) بين

الموجات القادمة من القمر الصناعى والموجات المتولدة بجهاز الاستقبال. ويحسب الفرق فى الطور بين كل من الموجة القادمة والموجة الصادرة محليا وهذا الفرق تكون قيمته جزء من طول الموجة.

أما المسافة الحقيقية بين كل من الراصد والقمر الصناعى فإنها تتم بطريقة افتراضية نفترض فيها أن المسافة الكلية تبلغ عدد (N) من الموجات الصحيحة الصادرة من القمر الصناعى بالإضافة إلى جزء من طول الموجة الذى تم قياسه بواسطة فرق الطور أي أن المسافة:

$$PR = NY + \theta\lambda$$

حيث:

(Y) هي طول الموجة المستخدمة

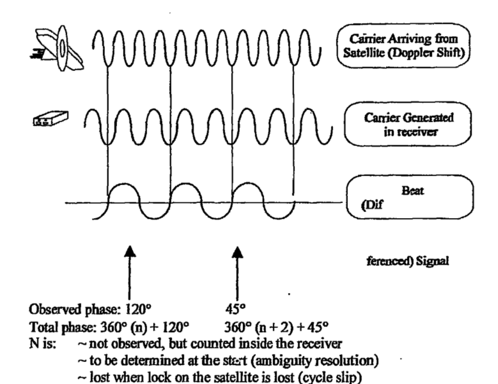
(N) هو العدد الكلى لطول الموجة الصحيح بين الراصد والقمر

($\theta\lambda$) هي قيمة فرق الطور للموجة الأخيرة فقط.

ويتطلب هذا القياس عدة قياسات تستغرق بعض الوقت حيث تحصل على الرقم الصحيح (N) لعدد الموجات الكاملة بين الراصد والقمر.

وتبلغ قيمة الدقة الناتجة عن هذا القياس ما مقداره (١/٠,٠) من طول الموجة المستخدمة أي حوالي (٠,١٩ سم)، أما إذا استخدمت الموجة الحاملة الثابتة (L_2) والتى طولها يقدر بحوالي ٢٤ سم، فإن الدقة التى نحصل عليها تصل إلى ٠,٢٤ سم.

ويوضح الشكل (٤-١٢) مقارنة الموجات الحاملة Carrier Waves بين كل من القمر الصناعى وجهاز الاستقبال. وتستخدم هذه الأجهزة فى النظم الفرقية لأغراض المسح البحرى وأغراض تحديد الموقع الثابت حيث تكون معرفة الموقع الدقيق أكثر أهمية من معرفة زمن التوقيع كما فى حالة قياس ومطابقة الكود الذى يستخدم فى حالة الملاحة.



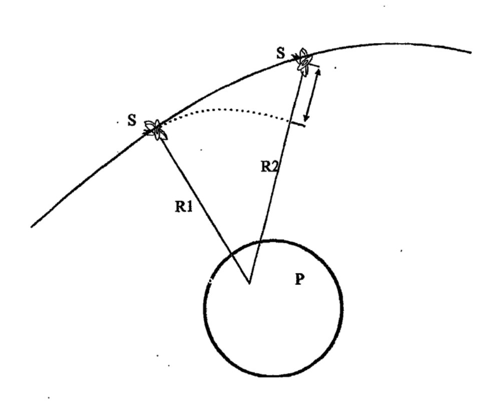
شكل (٤-١٢)

٤-٨-٣ قياس فرق الدوبلر Doppler Shift

يمكن أيضا قياس فرق المسافة بين القمر الصناعي والراصد بواسطة قياس فرق الدوبلر كما هو متبع في نظام الترانزيت للإفادة من ظاهرة الدوبلر التي يتغير فيها التردد نتيجة لحركة القمر الصناعي أو حركة الراصد أو من محصلة سرعتهما، فكما نعلم أنه نتيجة للسرعة النسبية بين القمر الصناعي وجهاز الاستقبال، فإن الترددات التي نستقبلها تختلف عن الترددات المرسلة بقيمة تتناسب مع السرعة النسبية بين مصدر الإشارات وبين جهاز الاستقبال، وإذا تم التكامل أي معرفة عدد مرات الفرق بين الترددات المرسلة والمستقبلة في فترة زمنية محددة فإن ذلك يتناسب مع المسافة بين القمر الصناعي وبين الراصد ومن ثم يمكن تحديد فرق المسافات أو المسافة المائلة أو Slant Range ويوضح الشكل (٤-١٣) قيمة فرق المسافات المقاسة بين مسافتين متتاليتين للقمر الصناعي عند موقع الراصد ونستخدم

إحـــدى الـمـوجــات الـحـامـلـــة Carrier Waves (L_1)، (L_2) أو كلاهمـــا لقيـاس اختـلاف الدوبلـر ويستخدم هـذا الفـرق فـي الدوبلـر ليـس فقـط فـي تحديد الموقع ولكـن لأغراض الملاحـة حيـث يستخدم لتحديـد سـرعة السـفينة أو الطـائرة.

وخـط الموقـع الـذى نحصـل عليـه مـن نظـام GPS وذلـك بمعرفـة المسـافة الحسابية بين الراصد والقمر الصناعي سواء كان ذلـك عـن طريـق قيـاس فـرق الطـور أو قياس فرق الدوبلر فإن الدقة فى الحصـول علـى خـط الموقـع دائمـا تكـون عالية جدا وهـذه ما يميز هـذا النظـام عـن غيره مـن الأنظمـة الملاحيـة الأخرى. ويلزم للحصـول علـى إحداثيـات الموقـع الثلاثيـة خـط الطـول وخـط العرض والارتفاع عن سطح البحر فإنه يلزم رصد أربعة أقمار فـي آن واحـد.



شكل (٤-١٣): قياس فرق المسافات بقياس الدوبلر

٤-٨-٤ تحديد الموقع الديناميكي Dynamic Position Fixing

إن عملية تحديد الموقع الديناميكي هي رصد الأقمار الصناعية وتحديد الموقع أثناء حركة الراصد سواء بسرعة منتظمة أو غير منتظمة أي أن حركة جهاز الاستقبال تدخل في العمليات الحسابية التي تؤدى إلى تحديد الموقع ولا تكون سرعة القمر الصناعي وحده في مداره هي المؤثرة على تحديد الموقع ولكن يجب حساب الحركة النسبية بين كل من القمر والراصد والتي تشتمل على سرعته واتجاهه وحركة السفينة أو الراصد أي على السرعة والاتجاه أو خط السير، وهذه الطريقة تتبع في تحديد موقع الرصدات الغير ثابتة وتستخدم لتحديد الموقع الديناميكي. أما الكود العادى (C/A) أو الكود الدقيق (P) فالكود العادى قد يوفر دقة تصل إلى عدة أمتار فقد تصل إلى ١٥ متر، أما في حالة الكود الدقيق في تحديد الموقع الديناميكي فقد تصل إلى عدة أمتار فقط ويناسب هذا النوع جميع أغراض الملاحة حيث أن الملاحة تشتمل على الحركة والانتقال من مكان لآخر سواء البحرية منها أو الجوية أو الفضائية أو الأرضية حيث يجب تحديد الموقع في الوقت الحقيقي (Real Time) عند الرصد في نفس الزمن الذى يقوم فيه القمر الصناعي بإرسال بياناته وهنا يصبح عنصر الوقت والسرعة هامان في تحديد الموقع والأعمال الملاحية المتوقعة بين المواقع المرصودة كما أن تحديد الموقع يجب أن يكون موضحا بالإحداثيات الجغرافية أي خط الطول وخط العرض الجغرافي للمكان والذى يناسب أغراض الملاحة.

وفي أغراض الملاحة لتحديد الموقع الديناميكي فإن حساب خط الموقع يعتمد على قياس المسافة التقريبية أو المسافة الحسابية بين القمر الصناعي والراصد (Pseudo) حيث يتم قياس المسافة الحسابية بين أربعة أقمار صناعية في آن واحد (Simultaneously) ويكون قياس المسافة الحسابية لأربعة أقمار أمرا ضروريا إذا كان المطلوب معرفة ارتفاع الراصد فوق سطح البحر أو الارتفاع فوق المستوى الجيوديسي.

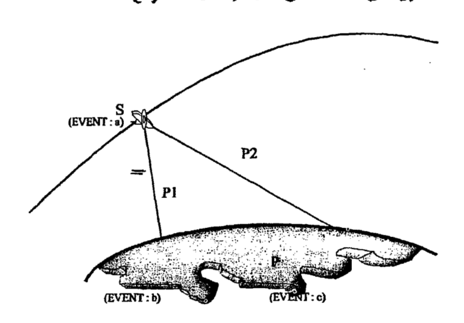
٤-٨-٥ تحديد الموقع الاستاتيكي Statistic Position Fixing

إن عملية تحديد الموقع الاستاتيكي هي عملية رصد لمكان محدد على سطح الأرض أو لمكان ثابت كموقع عائمة أو موقع منصة بترول بعيدة عن الساحل (Off-Shore) أي أن حركة الراصد لا تدخل في حسابات تحديد الموقع وفي هذه الحالة فإن عملية تحديد الزمن لا يؤثر على الدقة في تحديد الموقع بل أن عدم الحركة يساعد على زيادة عملية تقييم ودقة الموقع التي تتناسب مع الاستخدام والذي غالبا ما يكون موقعا جيودسيا لأغراض المسح أو أغراض تحديد أهداف أرضية ثابتة.

وفيما يتعلق بتحديد إحداثيات الموقع الاستاتيكي فإنها إما أن تكون إحداثيات جغرافية أي تحديد خط الطول وخط العرض على الخرائط الملاحية الميركاتورية أو الإحداثيات العالمية (UTM) مثل الشماليات والشرقيات وهو ما يطلق عليه عملية تحديد الموقع المطلق Absolute Positioning أو أن تكون عملية تحديد الموقع نسبيا Relative Positioning حيث يتم تحديد الموقع بالنسبة لموقع آخر معلوم أو لنقطة مرجعية (Reference Point) كالتي تستخدم في نقاط الربط المثلثية المستخدمة في أغراض المساحة والأغراض المشابهة لها.

وتتطلب عملية تحديد الموقع النسبي والتي تسمى أيضا عملية تحديد الموقع الفرقي Differential Positioning أن يكون هناك اتصال سواء لاسلكي بأجهزة الراديو (RF) أو سلكيا كخط تليفون بين جهازين استقبال أحدهما يثبت في موقع النقطة المرجعية الأولى والمعلوم إحداثياتها بدقة وبين النقطة الثانية التي نرغب في تحديد موقعها النسبي... وهذا ما يستخدم في أعمال المسح المحدودة. والطريقة التفاضلية أو النسبة توفر قدرا كبيرا جدا من الدقة تتناسب مع الغرض المستخدمة من أجله والتي تبلغ عدة سنتيمترات فقط كما يطلق على هذه الطريقة في تحديد الموقع أيضا (Single Point Positioning) ويتضح من ذلك أن طريقة تحديد الموقع النسبي أو النقطة الوحيدة تستغرق بعض الوقت وتتطلب تجهيزات خاصة مثل وجود جهازين للاستقبال وهوائيات متنقلة وخط اتصال يربط بين كلا جهازي الاستقبال لمعايرة كل البيانات التي تستقبل بواسطة كل

منهم في آن واحد في مكانين مختلفين كما تتطلب أيضا هذه الطريقة معالجة حسابية خاصة Software للحصول على الموقع النسبي الجديد مع ملاحظة أن عنصر الوقت (Real Time) في هذه الطريقة يلي في أهميته الحصول على دقة عالية في تحديد إحداثيات الموقع.



شكل (٤-١٤): التحديد النسبي أو التفاضلي للموقع

ويشترط في أعمال تحديد الموقع الفرقي أو النسبي أن يكون مدار القمر الصناعي المستخدم في الرصد خالي من الانحراف وأن تكون أجهزة التوقيت به متزامنة وتم معايرتها عند مرورها فوق محطات المراقبة في الدورة التي تسبق الرصد مباشرة وهذا ما يمكن الاستدلال عليه من استقبال البيانات الملاحية لموقع القمر في مداره.

٤-٩ أخطاء وانحرافات نظام جي.بي.أس GPS Errors and Biases

تتأثر قياسات GPS سواء قياسات أشباه المسافة Pseudorange أو قياسات طول الموجة Carrier Phase بأسباب مختلفة من الأخطاء والانحرافات والتشويش تؤدى بالتالي إلي خطأ في إحداثيات الموقع المرصود. وللحصول على دقة عالية لقياسات GPS لابد من فهم سلوك ومضمون هذه

الأخطاء لكي يمكن معالجتها بالشكل المناسب وتختلف قيمة الدقة باختلاف الغرض المستخدم فيه النظام في تحديد الموقع كما تختلف باختلاف المكان والوقت وطريقة القياس ونوع جهاز الاستقبال المستخدم والمعالجة الرياضية Processing المستخدمة في القياسات ويرجع وجود الأخطاء بغض النظر عن قيمتها كبيرة كانت أم صغيرة إلى عدم دقة قياس المسافة Pseudorange وأخطاء التميع في دقة الموقع Dop.

٤-٩-١ أخطاء قياس المسافة Range Measurement Errors

تتأثر الرصدات الناتجة عن قياس المسافة بين الراصد وبين الأقمار الصناعية Pseudorange بأخطاء ناتجة عن أربعة عوامل رئيسية:

أ- أخطاء ناشئة عن مرور الموجات اللاسلكية في الغلاف الجوى للأرض والتي تشمل كل من طبقة الأيونوسفير والتروبوسفير.

ب- الانحرافات الناتجة عن أجهزة الاستقبال وما يؤثر عليها من تشويش داخلي أو خارجي.

ج- الأخطاء الناشئة عن عدم الدقة الناشئة من استقبال المسارات المتعددة المنعكسة من أهداف محيطة بالراصد.

د- أخطاء ذاتية في الأقمار الصناعية وتشمل الأخطاء في موقع القمر بمداره وأخطاء في انحرافات الساعات الذرية به.

كما أنه تجدر الإشارة إلى أن قيمة هذه الأخطاء تزداد وتتضاعف بمعامل خاص بالتوزيع الهندسي للأقمار الصناعية في سماء الراصد ويمكن معالجة بعض هذه الأخطاء عن طريق مقارنتها بقياسات وبيانات الأقمار المتاحة أو مقارنة الرصدات المأخوذة من عدد من أجهزة الاستقبال أو الاعتماد على نماذج رياضية لتحليل قيم الأخطاء وتلاشيها. وفيما يلي نستعرض الأخطاء التي تؤثر على قياس المسافة الحسابية.

٤-٩-٢ انحرافات وأخطاء الغلاف الجوي Atmospheric Errors and Biases

تمثل أخطاء وانحرافات الغلاف الجوى ظاهرة فيزيائية تؤثر على انتشار إشارات الراديو ذو التردد العالي التي يستخدمها نظام GPS، وتشتمل على

التأثير اليومي لدرجة التأين في كل من طبقتي الأيونوسفير والتروبوسفير. فعند مرور موجات الراديو في الغلاف المحيط بالكرة الأرضية تتأثر أولا بفعل طبقة الأيونوسفير ثم تتأثر مرة أخرى عند مرورها في طبقة التروبوسفير وتتناسب درجة انكسار المسار طرديا مع كثافة التأين وعكسيا مع قيمة مربع التردد المستخدم وعلى ذلك فإن تأثير الغلاف الجوى على قياسات المسافة على التردد الأول (L_1) يكون أقل من تأثيره على قياس المسافة على التردد الثاني (L_2).

أولا: تأثير طبقة الأيونوسفير Ionospheric Delay

طبقة الأيونوسفير هي تلك الطبقة العليا من الغلاف الجوى التي تكون فيها نسبة الإلكترونات والأيونات الحرة كافية للتأثير على انتشار الموجات الإلكترومغناطيسية، ويتراوح ارتفاع هذه الطبقة بين ٥٠-١٠٠ كم عن سطح الأرض حيث تتفاعل الأشعة فوق البنفسجية الساقطة من الشمس مع جزيئات الغاز وتكون طبقة متأينة . هذه الإلكترونات الحرة تشتت الوسط مما يتسبب في تسريع الموجات الحاملة على طول مسار الإشارة، ويتعلق تأخير انتشار الإشارة Propagation Delay في طبقة الأيونوسفير بكمية الإلكترونات الحرة والأيونات الموجودة على طول مسار الإشارة وعلى التردد المستعمل. ويسمى الخطأ الناتج عن انتشار الإشارة في طبقة الأيونوسفير بالانكسار الأيونوسفيرى Ionospheric Refraction ويتوقف هذا على التردد المستعمل والموقع الجغرافي والزمن، ويتراوح الخطأ الناتج عن الأيونوسفير من ٥-١٥ متر ويمكن أن يصل إلى أكثر من ١٠٠ متر في بعض الأحيان.

وتستفيد أجهزة الاستقبال ثنائية التردد (L_1, L_2) من تأثير الأيونوسفير المختلف على كل تردد، فباستخدام الفروقات الثنائية ولمسافات قصيرة يمكن إزالة معظم تأثير خطأ الأيونوسفير.

الأيونوسفير هو وسط مبعثر Dispersive Medium، مما يعنى أن سرعة انتشار الموجة الحاملة Carrier Wave تختلف عن سرعة

انتشار الحزمة Group Velocity (انتشار الشفرة). وتستند أغلب معادلات تشكيل التأثير الأيونوسفيرى على فرضيات تقريبية للتمكن من تطبيق علاقات رياضية مناسبة، وتعتبر فرضية الطبقة الوحيدة Single Layer Model من أهم تلك النظريات والتي يتم استخدامها لحد القسم النظامي من التأثير الأيونوسفيرى وتنص على اعتبار أن كل الإلكترونات المتواجدة في طبقات الأيونوسفير Total Electron Content (TEC) تكون مركزة في طبقة رقيقة جدا على ارتفاع متين من سطح الأرض.

ويعبر رياضيا عن مقدار تأثير أو تأخير الأيونوسفير اليومي بالعلاقة التالية:

$$dion = 40.3\ TEC / f^2$$

حيث dion تمثل مقدار الأيونوسفير اليومي وf تمثل تردد الموجة الحاملة، وأفضل طريقة لتعيين مقدار خطأ الأيونوسفير يتم بواسطة قياسات الشفرة الدقيقة P-Code على التردد L_1 وL_2 ويمثل رياضيا بالعلاقة التالية:

$$dion_1 = 40.3\ TEC / f_1^2 = f_2^2\ (P2 - P1) / (f_1^2 - f_2^2)$$

حيث P1 وP2 هي المسافات المقاسة على الشفرة الدقيقة لكل من L_1، L_2.

وتتغير كثافة التأين في الجو باختلاف أوقات اليوم فهي بالنهار أعلى منها بالليل كما أن هذه الكثافة تكون أعلى ما يمكن وقت الظهيرة حيث يصل سطوع الشمس إلى أقصاه كذلك تتغير كثافة التأين باختلاف فصول السنة وتبلغ ذروتها في شهر مارس وباختلاف خط العرض فكثافة التأين عند المنطقة الاستوائية أعلى منها بكثير عند القطبين كما تتأثر أيضا بدورة البقع الشمسية.

ويمكن لتغيرات مفاجئة غير منتظمة Irregularities في طبقة الأيونوسفير أن تسبب تغيرات قصيرة الأمد في اتساع Amplitude وطور الإشارة وتدعى هذه بتأثيرات الومضان Scintillation Effects وتحدث بشكل رئيسي في الحزام

الجغرافي 30° درجة شمال وجنوب خط الاستواء، وفي مناطق الشفق القطبية Auroral Polar Zones.

ومحتوى الإلكترونات العالي يحدث فقط في الأماكن الاستوائية، وتحدث ظواهر الومضان في المناطق الاستوائية بشكل كبير اعتبارا من مرور ساعة بعد الغروب وحتى منتصف الليل تقريبا، لذلك ينصح بعدم القياس بهذا الوقت في حال كون الدقة المطلوبة من القياسات عالية ويمكن أن يسبب تأثير الومضان عدد ضخم من قفزات القياسات Cycle Slips، كما يتغير تأثير الانكسار بالتغير اليومي في درجة التأين بالإضافة إلى دورة البقع الشمسية وفي وجود العواصف الكهرومغناطيسية وكلما زاد التردد كلما قل تأثير الانكسار.

ويعاني النشاط الشمسي Solar Activity من زيادة في الشدة أو ضعف على فترات دورية متساوية تقريبا تبلغ ١١ سنة وهي فترة دوران الشمس حول نفسها، وعندما يبلغ النشاط الشمسي ذروته، فإنه يؤثر على الإشارات المبثوثة من الأقمار الصناعية ومن ضمنها بالطبع أقمار الملاحة GPS وتصل قيمة الخطأ الناشئ عن الانكسار في طبقة الأيونوسفير حوالي ٣٠ متر خلال النهار وتقل إلي ٧ أمتار ليلا وتقل بالطبع في حالة استخدام الترددين (L_1)، (L_2) حيث يمكن حساب تأخير كل منهما.

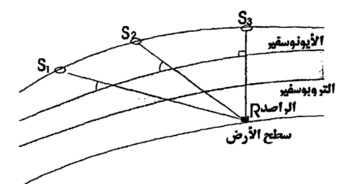
ثانيا: تأثير طبقة التروبوسفير Tropospheric Delay

طبقة التروبوسفير Troposphere هي طبقة الغلاف الجوي السفلي والتي تمتد من سطح الأرض حتى ارتفاع حوالي ٥٠ كم وتتأثر فيها سرعة انتشار الموجات فقط وفق محتوى بخار الماء ودرجة الحرارة فيها، وتعتبر طبقة التروبوسفير طبقة غير مبعثرة للتردد الأقل من ٣٠ جيجا هرتز. وتأثير التروبوسفير متماثل على كل من قياسات الشفرة (الكود) وقياسات الموجة الحاملة ويرتبط تأثير التروبوسفير على طول المسافة التي تقطعها الإشارة، فالإشارة القادمة من الأقمار ذات الارتفاع المنخفض تقطع مسافة أطول من الإشارة القادمة من الأقمار

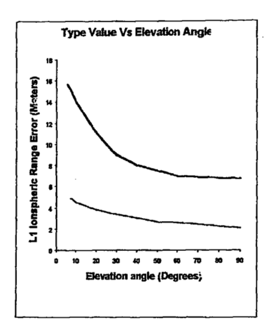
ذات زاوية ارتفاع عالية ولذلك فتأثير التروبوسفير يكون اقل ما يمكن عند السمت Zenith وأكبر ما يمكن عندما يكون القمر قريب من الفق، ويبلغ مقدار خطأ تأثير التروبوسفير من ٢-٤ متر عند السمت ومن ٣-٩ متر تقريبا إذا كانت زاوية ارتفاع القمر تقل عن ١٥° من الأفق. ويمكن تقسيم طبقة التروبوسفير إلى مركبتين أحدهما جافة والأخرى رطبة؛ والقسم الجاف يكون مسئولا عن ٩٠٪ من قيمة التأثير ويمكن التنبؤ بها بدرجة عالية من الدقة باستخدام النماذج التقريبية، أما القسم الرطب فليس من السهولة حسابه والتنبؤ بمقدار الخطأ الناشئ عنه ويمكن حسابه بعلاقة من الارتفاع وزاوية القمر باستخدام قياس كثافة الطاقة الإشعاعية في بخار الماء Water Vapour Radiometers (WVR).

تستخدم أجهزة الاستقبال المتطورة عوامل تصحيح آنية خلال حساب المسافات، ولكن باعتبار أن المناخ الجوى متغير من نقطة إلى أخرى ومن لحظة إلى أخرى فإنه من الصعوبة تأمين عوامل التصحيح المناخية المناسبة التي تعوض التأخير الناتج عن اختلاف سرعة الإشارات كما أن عدم استخدام نموذج رياضي للتعبير عن التأخير الناتج عن طبقة التروبوسفير قد يعطي نتائج بعيدة عن الحقيقة.

ويوضح الشكل (٤-١٥) العلاقة بين موقع القمر الصناعي في مداره وتأثير الانكسار على قياس المسافة، كما يوضح الشكل (٤-١٦) قيمة خطأ الانكسار المقابل للارتفاع الزاوي للقمر فوق الأفق.



شكل (٤-١٥):



شكل (٤-١٦):

وحيث أن خطأ تأثير الغلاف الجوى يعتبر من أكثر العوامل المؤثرة على دقة القياس، فإنه يجب الأخذ فى الاعتبار الاحتياطات الضرورية للتقليل من قيمة الخطأ وهي استخدام الترددين (L_1) و(L_2) فى القياس.

مما سبق يتضح أن قيمة الانكسار تختلف باختلاف قيمة التردد إذا كانت كثافة التأين ثابتة وبالتالى فإن استخدام كلا الترددين فى قياس المسافة الحسابية يمكننا من قياس معامل الارتباط وتأثير الانكسار على كل تردد على حدة حيث:

$$\because d_1 = \frac{N_1}{L_1}$$

$$\because d_2 = \frac{N_1}{L_2}$$

$$\therefore \frac{d_1}{d_2} = \frac{L_2^2}{L_1^2}$$

حيث (d) هي قيمة التأخير الناتج عن انكسار التردد (L) فى وجود كثافة التأين (N).

ويلاحظ فى هذا الشأن أن أجهزة الاستقبال العادية والتى تستخدم الكود العادى C/A لا تستخدم سوى تردد واحد فقط وهو التردد العالى (L_1)، أما الأجهزة التى تستخدم فى النظام العسكرى الدقيق بالكود الدقيق (P) فإنها تستخدم كلا من الترددين (L_1)، (L_2) وبالتالى فإن قدرة هذه الأجهزة على معالجة وتعويض تأثير الانكسار يكون كبيرا.

٤-٩-٣ أخطاء الانحرافات الناتجة عن أجهزة الاستقبال Receiver Biases

تتضمن الأخطاء الناتجة عن أجهزة الاستقبال على تشويش القياسات وخطأ ساعة أجهزة الاستقبال.

أولا: تشويشات قياسات أجهزة الاستقبال Receiver Measurement Noise

تنتج تشويشات أجهزة الاستقبال عن قصور فى تلك الأجهزة الإلكترونية. وتتضمن انحرافات بين القنوات Interchannel Biases، التذبذب اليومي للطور Phase Delay Variation وعدم استقرار مولد

الترددات Oscillator Instability تبعا للعوامل الخارجية كالرياح وحركة الأرض وتغيرات مركز الطور في الهوائي Phase Center Variations.

ومن البديهي أن أجهزة الاستقبال التي تحتوي على مرشحات إلكترونية (Kalman) تكون أكثر مقاومة للتشويش الخارجي وبالتالي تكون أقدر على إعطاء قياسات أكثر دقة من غيرها.

ثانيا: خطأ ساعة جهاز الاستقبال Receiver Clock Error

تعتبر ساعات أجهزة الاستقبال أقل دقة من ساعة القمر ولذلك فإن أخطاء ساعات أجهزة الاستقبال تكون أكبر من أخطاء ساعات القمار الصناعية. وعلى أي حال يمكن إزالة الخطأ ضمن العناصر الغير معروفة في معادلات قياس المسافة الحسابية (PR) كما تختلف الدقة في أجهزة القياس وفقا للكفاءة في صناعة الأجهزة والمكونات والدوائر الإلكترونية بها.

٤-٩-٤ خطأ المسار المتعدد Multipath Error

يعتبر خطأ المسار المتعدد من أكبر مصادر الخطأ والذي يتوقف على مكان الراصد وعلى المؤثرات المحيطة بمكان الراصد وعلى الإشارات الواردة من القمار الصناعية سواء ارتدت أو انعكست من أهداف محيطة بمكان الراصد مثل المباني أو أجزاء معدنية بالسفينة أو أرض أو أي أهداف عاكسة بالقرب من مكان الرصد. وفي هذه الحالة فإن جهاز الاستقبال سوف يستقبل كل من الإشارات الواردة من القمر مباشرة والإشارات الواردة من العاكسات المحيطة بأجهزة الاستقبال كالأبنية والجبال وأمواج البحر والسفن المحيطة أو أجزاء السفينة والتي ترد بعد وصول الإشارات الأساسية مع اختلاف وقت الوصول أو طور الاستقبال مما يؤثر في وجود خطأ تتناسب قيمته مع بعد المسار المنعكس وتؤثر على كل من قياس المسافة وقياس الطور. وتختلف قيمة هذا الخطأ باختلاف المكان وزاوية رؤية القمار الصناعية، وتكون هذه القيمة متغيرة وكبيرة نوعا ما عندما يكون جهاز الاستقبال متحركا كما في

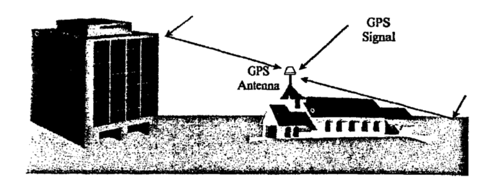
السفن والطائرات حيث يختلف المكان وتختلف زاوية خط السير ويكون تأثير المسار المتعدد على الكود العادى (C/A) أكبر من تأثيره على الكود الدقيق (P) أو المشترك (P/Y). وأفضل وسيلة للتغلب على تأثير المسار المتعدد هو الاختيار الصحيح لموقع ومكان الهوائى الذى يجب أن يكون بعيدا عن الأغراض التى من شأنها عكس إشارات الأقمار.

ووصول الإشارة متأخرة بعض الشيء عن الإشارات المباشرة يؤدى إلى تداخل وتراكب الإشارات المتأخرة مع الإشارة المباشرة مسببة وجود نتائج غير صحيحة فى إحداثيات موقع جهاز الاستقبال، يعتبر تأثير المسار المتعدد من أهم الأخطاء المؤثرة على دقة GPS ويرجع ذلك إلى صعوبة تحديده وتغيره من فترة إلى أخرى بسبب الدوران المستمر للأقمار. وكمثال واقعى يومى على هذا الخطأ يمكن أن يلاحظ فى أجهزة التليفزيون عندما تظهر ظلال متعددة للصور الأصلية على الشاشة بسبب أن الإشارة المبثوثة من المحطة الرئيسية قد تأخذ أكثر من مسار لتصل إلى هوائى التليفزيون وبالتالى تظهر عدة صور متراكبة فوق بعضها البعض فى نفس الوقت. يؤثر تعدد مسار الإشارة Multipath على كل من قياسات طور الموجة الحاملة والشفرة وتأثيره على قياسات الشفرة أكبر بمرتين من تأثيره على قياسات طور الموجة الحاملة.

يمكن اختزال تأثير تعدد المسارات Multipath على تعيين الموقع بواسطة القياس لفترة طويلة، وهذا لا يمكن تحقيقه فى الموقع الدينامیکی ولذلك ينصح بتجنب هذا التأثير أو العمل على تصغيره قدر الإمكان.

ويوضح الشكل (٤-١٧) الاحتمالات المتوقعة لمسارات الإشارات الواردة من القمر الصناعى وهي احتمالات لا يمكن التنبؤ بها وتظل قيمتها غير معروفة وإن كانت ليست بقيمة كبيرة على أي حال. ويمكن تقليل قيمة الخطأ الناشئ عن الانكسار المتعدد عن طريق اختيار مكان مناسب لموقع تثبيت مكان هوائى جهاز الاستقبال حيث يكون بعيدا قدر الإمكان عن الإنشاءات التى قد تعكس الإشارة وتسبب مسارا مختلفا. ومما هو جدير بالذكر أن الخطأ الناشئ عن المسار المتعدد Multipath من الأخطاء التى يصعب

تلاشيها أو تقدير قيمتها بدقة، ولكن نظرا لأن القمر الصناعي يقع على مسافة بعيدة جدا من الراصد (٢٠٠٠-٢٥٠٠٠ كيلومتر)، فإن الفرق بين المسار المباشر والمسار المنعكس من الأجسام المحيطة بالهوائي يكون صغيرا جدا.

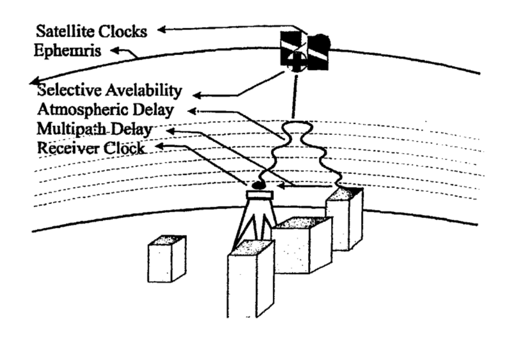


شكل (٤-١٧): تأثير المسار المتعدد

٤-٩-٥ أخطاء حركة الهوائي Attitude Errors

تمثل قاعدة هوائي جهاز الاستقبال نقطة القياس الدقيق لموقع الراصد في الإحداثيات الثنائية (2D) أي في قيمة خط الطول وخط العرض في الإحداثيات الجغرافية. فإذا كان جهاز الاستقبال مثبتا على سطح السفينة أو طائرة أو مركبة متحركة قابلة للميل أو الدرفلة أو قابلة للحركة خارج المحور الرأسي والأفقي، فإن الموقع المرصود سيكون ذلك الموقع الدال على نقطة تثبيت الهوائي. ويظهر هذا الخطأ كقيمة انحراف متغير (±) في حالة درفلة السفن أو انحراف ثابت في حالة ميل السفينة وتزداد قيمة الانحراف الأقصى كلما زاد ارتفاع الهوائي عن السطح الجيوديسي المحدد للقياس. أما أجهزة الاستقبال الثابتة فإنها لا تتأثر بالطبع بالانحراف الناتج عن الدرفلة أو الحركة (Dynamic Error).

ويوضح الشكل (٤-١٨) مجموعة العوامل التي تؤثر على دقة الموقع في نظام جي بي أس.



شكل (٤-١٨): العوامل المؤثرة على دقة نظام GPS

٤-٩-٦ أخطاء وانحرافات الأقمار الصناعية

تتضمن أخطاء المدار Ephemeris Errors وأخطاء سرعة القمر Satellite Clock Errors والأخطاء الناتجة من تأثير الإتاحية المختارة S/A.

أولاً: أخطاء المدار Ephemeris Errors

إن الفروقات بين التقويمات Ephemeris المتنبأ عنها وبين حالات المدارات الحقيقة تنتقل إلى مواقع هوائيات المستقبل. ومن المؤكد أن المركبة القطرية لخطأ المدار تؤثر على عملية تعيين شبه المسافة وبالتالي موقع المرصود، وبصورة أكبر في حالة تحديد الموقع المطلق عنها في حالة تحديد الموقع النسبي. ويتم التغلب على أخطاء المدار باستخدام الفروقات الثنائية بين أجهزة استقبال تفصلها عن بعضها مسافات قصيرة، وكقاعدة تقريبية عامة يؤثر خطأ مدار (dr) على خط قاعدة Baseline بين راصدين طوله (b) بالعلاقة التالية:

$$\frac{db}{b} = \frac{dr}{R}$$

$$\frac{\text{الخطأ فى خط القاعدة}}{\text{طول خط القاعدة}} = \frac{\text{الخطأ فى المسار}}{\text{المسافة بين الراصد والقمر}}$$

حيث:

(dr): خطأ المدار

(b): طول القاعدة

(R): بعد القمر الصناعي عن محطة القياس.

ويتراوح تأثير خطأ المدار من ٥ إلى ١٠ متر ويتزايد ليصبح من ٥٠ إلى ١٠٠ متر في حالة تشغيل الخطأ المتعمد S/A. يتم تعيين التقويمات الدقيقة Precise Ephemeris من قبل وكالة الخرائط التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية U.S. Defense Mapping Agency معتمدة على قياسات من ١٠ محطات موزعة حول العالم (خمسة محطات مراقبة Operational Control Stations OCS تابعة للقسم الفضائي لنظام GPS وخمسة محطات تابعة لوكالة الخرائط الأمريكية وتقع في كل من أمريكا، إنجلترا، البحرين واستراليا). وتتألف التقويمات الدقيقة من إحداثيات كل قمر وذلك في جملة الإحداثيات المثبتة بالأرض بنظام WGS84 المرجعي المعتمد وطريقة الحساب مطابقة لمعايير الخدمة الدولية لدوران الأرض International Earth Rotation Service (IERS). وتقدر أخطاء المدار في التقويمات الدقيقة في حدود من ١ إلى ٣ متر.

ثانيا: أخطاء ساعة القمر Satellite Clock Errors

كل قمر من أقمار المجموعة الثانية Block II يحتوى على أربعة ساعات ذرية، اثنتين من نوع سيزيوم واثنتين من نوع روبيديوم

وواحدة منها فقط تقوم بتوليد التردد المطلوب وحساب الوقت وبقية الساعات هي ساعات احتياطية.

ومع أن ساعات القمر ذات دقة عالية لكنها معرضة لبعض الأخطاء، والخطأ الناتج عنها يصل تأثيره إلى جميع المستخدمين ويمكن إزالته خلال القياسات الفرقية بين أجهزة الاستقبال حيث تحتوى الرسائل الملاحية المرسلة من الأقمار الصناعية على تصحيحات لأخطاء ساعة القمر مهما كانت صغيرة. ويعمل الاختلاف البسيط في توقيت ساعات القمر الصناعي على اختلاف قيمة المسافة المقاسة وبالتالى وجود خطأ في الموقع، ويجب ملاحظة أن أخطاء الساعات الذرية ستكون متساوية لجميع المستخدمين ويمكن معالجتها عن طريق تصحيحات تبثها محطات خاصة بمتابعة الأقمار الصناعية وتصل قيمة هذه الأخطاء إلى جزء من النانوثانية أي (10^{-9}) من الثانية.

٤-٩-٧ خطأ الإتاحية الاختيارية Selective Availability (SA)

عند تصميم نظام GPS كان الهدف الأساسي لاستخدامه أن يكون نظام خاص بوزارة الدفاع الأمريكية وبعد ذلك تم السماح باستخدام النظام بدرجة أقل من الدقة وفقا للكود العادى C/A والذى تم إيضاحه فيما سبق واقتصر استخدام الكود الدقيق (P) على الاستخدام العسكرى فقط، غير أنه -وخلافا لما هو متوقع- فإن الدقة التي توصلت إليها أجهزة الاستقبال في تحديد الموقع بواسطة الكود العادى كانت أيضا عالية ولم يكن هناك فرق كبير بين الكود العادى والكود الدقيق حيث بلغت الدقة للكود الدقيق عشرة أمتار والدقة للكود العادى عشرة أمثالها أي ١٠٠ متر فقط مما دعى وزارة الدفاع الأمريكية إلى إدخال نظام يعمل على تقليل الدقة أو إضعاف النتائج التي نحصل عليها باستخدام الكود العادى وسمي هذا النظام بالإتاحية المختارة (SA) وهو يهدف إلي زيادة الأخطاء عن عمد وتميز الكود الدقيق عن الكود العادى بدرجة كبيرة... وتتسبب الأخطاء المتعمدة (SA) في وجود خطأين أساسيين الأول منهما يسمى خطأ دلتا ويرمز له بالرمز (δ) وهو ناتج عن تعريج أو اختلاف ذبذبات ساعات القمر

بطريقة عشوائية وهذا الخطأ بالطبع سوف يؤثر على جميع المستخدمين للكود العادى C/A، أما الخطأ الثاني فيسمى خطأ زيتا الإضافي ويرمز له بالرمز (ζ) وهو يعمل على تغيير بيانات مدار القمر غير البيانات الحقيقية لمداره الحقيقي، وبإضافة هذا الخطأ (SA) فإن الخطأ في المستوى الأفقي للراصد قد يتراوح بين ١٠٠ متر إلى ١٥٠ متر بنسبة ٩٥٪ من الاحتمالات وهذا ما حدا بالعلماء اللجوء إلى استخدام النظام الفرقي Differential للتغلب على الخطأ الناشئ عن الإتاحية الاختيارية ويوفر دقة أفضل من ١٠ متر. وقد تم إلغاء نظام الإتاحية المختارة SA من إشارة الأقمار الصناعية وجعل النظام متاحا للجميع بدون أخطاء متعمدة تقلل من دقة الموقع المرصود اعتبارا من مايو ٢٠٠٠.

٤-٩-٣-١ أسباب إلغاء الإتاحية الاختيارية

لقد تم تشغيل نظام (SA) لأول مرة يوم ٢٣ فبراير سنة ١٩٩٠ ثم توقف العمل به أثناء عمليات حرب الخليج في ٢ أغسطس سنة ١٩٩٠ ثم أعيد تشغيله على الكود العادى اعتبارا من مارس سنة ١٩٩١ حتى تم إلغاؤها أو تخفيض قيمتها إلى الصفر بقرار رئاسي أمريكي في أول مايو سنة ٢٠٠٠.

وقد يكون من أهم أسباب إلغاء العمل بنظام الإتاحية الاختيارية النظرة الاقتصادية في ظل رأي عام أوروبي أو عالمي يعمل على إنشاء نظام جديد للأقمار الصناعية مثل أجنوس أو جاليليو والذى يأخذ في أولي اهتماماته تجنب العيوب الموجودة في النظام الأمريكي GPS بأن تكون شفرته خالية من الخطأ المتعمد (SA) وعندما رأت الإدارة الأمريكية أن نظام GPS لم يعد النظام الوحيد في المستقبل الذى يوفر خدمة عالية الدقة في تحديد الموقع، فكان قرارها الصائب بإلغاء هذا الخطأ (SA). فهناك النظام الروسي GLONASS الذى يقدم الخدمة بدون إضافة أخطاء متعمدة، وهناك نظام EGNOS الأوروبي الذى يقوم على مبدأ التكامل بين GPS وGLONASS حيث يبث إشارات كلا النظامين إلى المستخدمين عبر أقمار الاتصالات بالإضافة إلى قيام الدول الأوروبية بإنشاء نظام جديد خاص بها يماثل نظام GPS والمسمى بجاليليو. ومن أجل المحافظة على

المستخدمين لنظام GPS على مستوى العالم وضمان استمراريتهم في استخدام نظام GPS وعدم التوجه إلى استقبال هذه الخدمة من مصادر أخرى، خاصة إذا علمنا أن صناعة أجهزة استقبال GPS من أجهزة وبرامج مساعدة تقدر بما يقارب ٨ بليون دولار أمريكي، ويوجد ما يقارب من ٤ مليون مستخدم للنظام حول العالم، ومن المتوقع أن يصل الدخل من هذه الصناعة إلى ما يقارب ١٦ بليون دولار أمريكي قبل أن تطير أي من الأقمار الصناعية الأوروبية المنافسة له. أدت تلك العوامل وبضغوط من الشركات الأمريكية المصنعة لأجهزة وبرامج GPS وأجبرت الحكومة الأمريكية على إلغاء الإتاحية المختارة SA. ويجب ملاحظة أن إلغاء الخطأ المتعمد (SA) حاليا لا يعني إلغاؤها بصفة قاطعة وإنما تظل الإمكانية موجودة في حالة الضرورة والتي تستدعي أن تعود الإدارة الأمريكية ولأسباب أمنية إلى تشغيل الإتاحية الاختيارية SA مرة أخرى.

٤-١٠ التميع أو التخفيف في دقة الموقع Dilution of Precision (DOP)

يستخدم الاصطلاح (دوب) للدلالة على تركيز عوامل الدقة المتوقعة في تحديد الموقع المرصود والناتجة من توزيع الأقمار في مكان الرصد، فكلما قلت درجة التميع أو التخفيف (Low DOP) كلما زادت دقة الموقع والعكس صحيح، وكلما ازداد التميع أو التخفيف (High DOP) تقل درجة الدقة في تحديد الموقع.

ويمكن الاستدلال على مقدار التميع أو التخفيف بتقدير حجم الفراغ الذي تحصره الأضلاع التي تصل بين الأقمار الصناعية المستخدمة وموقع الراصد. ويوضح الشكل (٤-١٩) درجة التخفيف عندما يكون حجم الفراغ صغيرا حيث تزداد درجة التخفيف وتقل دقة الموقع وعندما يكون حجم الفراغ كبير تقل درجة التخفيف وتزداد دقة الموقع المرصود.

ويمكن تحليل درجة التخفيف في كل من المستوى الأفقي والمستوى الرأسي، وفي هذه الحالة يسمى التميع الأفقي (H DOP) والتميع الرأسي (V DOP).

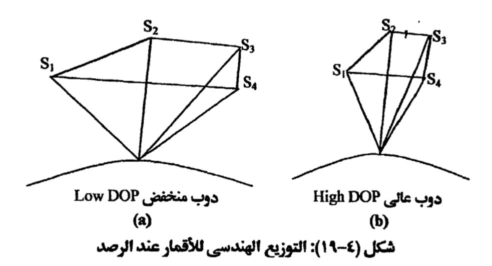
ويوجد بمعظم أجهزة الاستقبال وحدات خاصة لتحديد درجة التميع المقبولة أو الدقة المطلوبة في تحديد الموقع وذلك يعمل التحليل الجيومترى المناسب لقياس هذه الدرجة، فإذا كان المطلوب درجة عالية من الدقة في الموقع أي درجة منخفضة من التميع أو التخفيف فإن ذلك يتطلب وجود عدد كبير من الأقمار الصناعية من ٨ إلى ٩ أقمار حتى يستطيع جهاز الاستقبال اختيار أفضل الأقمار التي توفر هذا القدر من الدقة. ويمكننا القول أنه كلما اتسعت الزاوية بين الأقمار كلما تحسنت القياسات، ويختار جهاز الاستقبال أفضل أربعة أقمار ذات المواقع النسبية الجيدة مما يقلل من قيمة التميع أو التخفيف.

ومما هو جدير بالذكر أن إمكانية الرصد وتحديد الموقع (الإتاحية Availability) تتناسب مع مقدار الدوب، فعندما يكون الدوب المطلوب قيمة صغيرة -وهذا يعني أن الدقة المطلوبة تكون عالية- فإن احتمال توافر الأقمار الصناعية المناسبة وتوزيعها الهندسي الجيد فوق أفق الراصد يكون احتمال ضعيف، وبذلك تقل إتاحية رصد الموقع؛ والعكس صحيح، فكلما زادت قيمة الدوب تزداد معه إتاحية الرصد حيث يمكن لجهاز الاستقبال رصد أي مجموعة أقمار متواجدة وقت الرصد لتحديد الموقع، ولذلك يجب على الملاحين اختيار قيمة الدوب التي توفر قدر مناسب من الدقة وأيضا درجة عالية من الإتاحية.

ولتحديد قيمة الدقة الناتجة عن التوزيع الهندسي أو التميع (الدوب) فإن الأخطاء الناتجة عن جميع عناصر قياس شبه المسافة بين الراصد والقمر الصناعي يتم تحديدها بوحدات المسافة مثل أخطاء جهاز الاستقبال وأخطاء ساعات القمر الصناعي وأخطاء المدار وتأخير طبقة الأيونوسفير والمسار المتعدد بقيمة الانحراف المعياري لكل منها (5).

ويكون حاصل ضرب الانحراف المعياري مع معامل زيادة Scale Factor قيمة أكبر من الواحد الصحيح فإنها تزيد من قيمة المسافة الحسابية وبالتالي تخفف أو تقلل من دقة الموقع.

ويسمى هذا المعامل بالمعامل الهندسي للدقة GDOP وتصبح دقة الموقع مساوية: Position Accuracy = GDOP x δ.



شكل (٤-١٩): التوزيع الهندسي للأقمار عند الرصد

ويلاحظ من الشكل (٤-a١٩) أنه عندما تكون الزاوية بين الأقمار المرصودة كبيرة ينتج عن ذلك انخفاض مقدار التميع وبالتالي تزداد الدقة، والعكس صحيح كما يظهر في الشكل (٤-b١٩) حيث أن الدوب يكون عالي وبالتالي تنخفض درجة الدقة في رصد الموقع.

ويجب ملاحظة أنه عندما يطلب الراصد درجة منخفضة من الدوب فإن احتمال توافر مثل هذه الظروف التي توفر درجة منخفضة من الدوب ودرجة مرتفعة من الدقة فإن مقدار الإتاحية منخفضة.

وقد يكون من غير الممكن الحصول على موقع مرصود بواسطة جهاز الاستقبال وتتراوح قيمة الدوب بين أقل قيمة لها والتي يعبر عنها في الكثير من أجهزة الاستقبال بقيمة عددية منخفضة (δ) بينما تحدد القيمة العظمى للدوب برقم كبير والذي بالطبع يضاعف من مقدار الخطأ أو الإزاحة عن الموقع الحقيقي وتسمى الدقة في المستوى الأفقي (H DOP) وتساوي:

$$H\ DOP = \sqrt{N^2 + E^2}$$

حيث N، E هي إحداثيات الموقع في المحاور (x، y)، أما الدقة الجيومترية (G DOP) فهي تعادل:

$$P\ DOP = \sqrt{N^2 + E^2 + V^2}$$

وهي تعادل الدقـة فـي الإحداثيـات الثلاثـة (x، y، z).

$$P\ DOP = \frac{K}{V}$$

حيث (V) هـي حجـم الفراغ الـذي تحـده الأضلاع الواصلـة بـين موقـع الراصـد وموقـع الأقمــار المسـتخدمة.

ويعـبر عـن التميـع فـي الزمـن بـالمصطلح (T DOP) والتميـع فـي المسـتوى الرأسـي (V DOP)، وتكـون محصلـة ضـرب الانحـراف المعيـاري (δ) لعنـاصر الموقـع (x, y, z) فـي مقـدار التميـع (الـدوب) هـو قيمـة الخطـأ فـي موقـع الراصـد.

ومـن المهـم تحديـد قيمـة الـدوب فـي الملاحـة وقـد يكـون تحديـد القيمـة يدويـا بمعرفـة الراصـد أو آليـا بواسـطة جـهاز الاسـتقبال إذا مـا طلـب الحصــول علـى أعلـى قيمـة ممكنـة لدقـة الموقـع.

ويجـب ملاحظـة أن القيمـة العاليـة مـن الدقـة قـد لا تتوفـر لعـدم وجــود أقمـار موزعـة توزيعـا مناسـبا وقـت الرصـد.

ويرجـع وجـود الاختلافـات فـي قيمـة الإحداثيـات عـن المقـدار الحقيقـي إلى وجـود أخطـاء ومؤثـرات لم تقـم بمعالجتـها أو تصحيحـها كليـا.

وبوجـه عـام فـإن وجـود عـدد كبـير مـن الأقمـار الصناعيـة فـوق سمـاء الراصـد سـوف يسـاعد علـى اختيـار المجموعـة المناسـبة التـي توفـر دوب منخفـض وبالتـالي دقـة عاليـة.

كمـا تلاحـظ أن الـدوب الرأسـي (V DOP) دائمـا يكـون أكـبر مـن الـدوب الأفقـي (H DOP) والسـبب فـي ذلـك يرجـع إلى أن جميـع الأقمـار التـي تم رصدهـا تقـع جميعـها فـوق الراصـد أي فـي ناحيـة واحـدة منـه، وحتـى يتضـح المعنـى المقصـود مـن ذلـك، فبفـرض أن الكـرة الأرضيـة شـفافة وأنـه يمكـن للراصـد رصـد الأقمـار مـن الجهـة الأخـرى مـن الأرض فـهذا يعنـي أن الراصـد يستطيع رصـد أقمـار فوقـه وأقمـار أخـرى أسـفل منـه عـبر حـاجز الكـرة الأرضيـة وهـذا مـا لا يسـتطيع، وبذلـك تظـل الأقمـار فـي جـانب واحـد وبالتـالي فـإن التميـع الرأسـي يظـل أكـبر دائمـا مـن التميـع الأفقـي، غـير أنـه فـي بعـض أجـهزة

الاستقبال التي تستخدم ساعات أكثر دقة فإن الإحداثي الرأسي يمكن تقديره بدقة أفضل، وهناك ثلاثة حالات تؤدي إلى رداءة التوزيع الهندسي للأقمار وهي:

- عندما تكون جميع الأقمار واقعة على نفس الارتفاع الزاوي.
- عندما تقع الأقمار على اتجاه واحد من الراصد.
- عندما تكون الأقمار الصناعية واقعة بالقرب من بعضها البعض من مكان الراصد.

٤-١١ نسبية الوقت العامة والخاصة Time Relativity

تتأثر مذبذبات الأقمار الصناعية بنسبية الوقت وبالتالي فإن دقة الساعات الزمنية سوف تتأثر بهذا الاختلاف، وفي حينه تكون كل من الساعات القمرية وساعات محطات المتابعة الأرضية متزامنة ومتطابقة عندما يكون كلاهما على سطح الأرض وينشأ اختلاف بسيط بينهما عندما يوضع القمر الصناعي في مداره الخارجي بعيدا عن جاذبية الكرة الأرضية. وهناك نوعان من الجاذبية تؤثران على التزامن والتوافق الدقيق بين الوقت الذري بالقمر وبين وقت محطات المتابعة، وتسمى الأولى منهما بالنسبية العامة والتي أشار إليها إسحق نيوتن في القرن السابع عشر والتي أوضح فيها وجود انكماش Compression في الوقت أو التأخير عندما تكون أجهزة قياس الوقت واقعة تحت تأثير نطاق جاذبية عالي، وبالتالي فإن ساعات الأقمار الصناعية ستكون متأخرة بعض الشيء عندما تكون قريبة من سطح الأرض، ولكن عندما يبعد القمر بعيدا عن مكان الجاذبية Special Relativity فإن ساعات القمر سوف تبدو وكأنها مسرعة أو متقدمة عن ساعات محطات المتابعة الأرضية. وتتساوى كل من النسبية العامة لتأخير الوقت والنسبية الخاصة (إسراع الوقت) عندما يكون بعد القمر مساويا لأربعة أضعاف نصف قطر الأرض.

وحيث أن أقمار جي.بي.أس تقع بعيدا عن هذه القيمة فإن النسبية الخاصة تفوق تأثير النسبية العامة، ويبدو وقت القمر مسرعا عن وقت محطات المتابعة. وتبلغ قيمة الاختلاف بين وقت القمر ووقت محطة المتابعة نحو ٣٨

نانو ثانية يوميا، وهذه القيمة رغم صغرها يمكنها أن تسبب خطأ يعادل ١١ كم إذا لم تصحح قيمتها. وتتم معالجة هذه الزيادة أو التسارع في الزمن عن طريق تخفيض التردد الذي يرسله القمر بمقدار ٠,٠٠٤٥ ذبذبة/ثانية عن التردد الأساسي (١٠,٢٣ ميجا هرتز). وعندما تصل هذه الذبذبات إلى سطح الأرض فإن الراصد سوف يستقبلها على أنها (١٠,٢٣ ميجا هرتز) وهو ما يتوافق ويتطابق مع ذبذبات أجهزة الاستقبال.

الفصل الخامس

نظام تحديد الموقع الفرقي

DGPS

Differential Global Positioning System

٥- نظام تحديد الموقع الفرقي DGPS

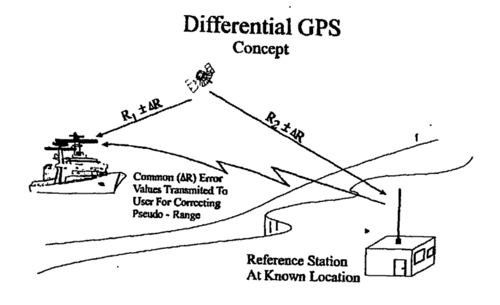
٥-١ نظرية عمل النظام

رغم أن الدقة التي يحققها نظام GPS تستوفي المتطلبات العامة للملاحة البحرية في أعالي البحار وتطبيقاتها حيث كانت تبلغ في ظل وجود الخطأ المتعمد أو الإتاحية المختارة S/A 100 متراً وتبلغ الآن ما يقارب العشرين متراً، إلا أنها لا تتوافق مع مستلزمات الدقة والاعتمادية لتطبيقات عديدة استجدت مثل أعمال المساحة البرية والبحرية وتحديد موقع الإنشاءات البحرية البعيدة عن الشواطئ والملاحة في فترات الاقتراب من الموانئ وفي المياه الضيقة والممرات البحرية بالإضافة إلي الملاحة الجوية وغيرها من الاستخدامات التي تتطلب دقة عالية، فتوصلت إلى استخدام النظام الفرقي DGPS والذي يتم بموجبه التغلب على تأثيرات S/A في حالة وجودها والعديد من الأخطاء التي يتعرض لها النظام الأساسي GPS وحده ليحصل على دقة تبلغ عدة أمتار أو أفضل.

وتقوم المؤسسات التي تعمل على إنشاء الأنظمة الفرقية وتعميمها للاستخدام في المناطق الواسعة حتى يمكن أن يستخدمها عدد كبير من مستخدمي نظام GPS بدون الاعتماد على النظام الدقيق (P) ولكن باستخدام الكود العادي (C/A).

وتهدف فكرة DGPS إلى حذف معظم الأخطاء في الأقمار الصناعية والأخطاء الناشئة عن تأخير الأيونوسفير والمؤثرة بشكل غير مباشر على عملية القياسات.

ويوضح الشكل (٥-١) نظرية عمل المحطات الفرقية.



شكل (٥-١): محطة نظام فرقى

وتعتمد فكرة النظام الفرقى على إنشاء محطة مرجعية يستخدم فيها واحد أو أكثر من أجهزة الاستقبال لنظام GPS.

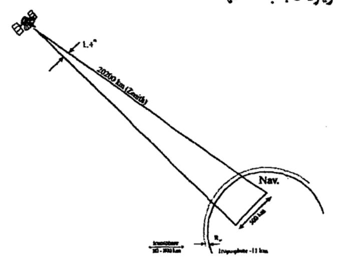
ويحدد موقع المحطة المرجعية أو محطة الإسناد بدقة عالية جداً وفقاً للأساس الجيوديسى الذى يعمل عليه نظام الأقمار وهي (WES84)؛ وتقوم أجهزة الرصد فى محطة الإسناد المرجعية بمقارنة القياسات التى تحصل عليها من الأقمار الصناعية الموجودة فوق سماء المحطة مع الموقع الحقيقى المعروف بالمحطة وبالتالى فإن الفرق بين الموقع المرصود بواسطة أجهزة استقبال GPS والموقع الحقيقى هو الخطأ فى الموقع الناتج عن مجمل المؤثرات التى تؤثر على دقة القياس مثل أخطاء ساعات الأقمار المستخدمة وأخطاء المدار وتأخير طبقة الأيونوسفير والتروبوسفير بالإضافة إلى الأخطاء الموضعية الناشئة عن شوشرة أجهزة الاستقبال فى محطة الإسناد وأي أخطاء أو انحرافات ناتجة عن المسارات المتعددة التى قد تؤثر على استقبال أجهزة المحطة المرجعية.

وهكذا يكون لدى المحطة المرجعية قيمة فرقية بين الموقع الحقيقى والموقع المرصود يسمى بالخطأ الفرقى والذى يمكن للسفن والطائرات

والمستخدمين فى نطاق التغطية وبالقرب من المحطة المرجعية استخدام هذه القيم لتصحيح القراءات التى يحصلون عليها من النظام الأساسى.

وقد تستخدم طريقة أخرى لتحقيق نفس الغرض من النظام الفرقى المحلى تعتمد على أجهزة إرسال يتم تثبيتها فى مواقع أرضية لنظام GPS تقوم بإرسال إشارات الأقمار الصناعية على نفس الترددات (L_1, L_2). ويسمى هذا النوع من الإرسال بأشباه الأقمار (Pseudo Satellite) أو (Pseudolites) وهي بهذه الطريقة تعمل على إيجاد أقمار إضافية مكانها معروف بدقة وغير معرض لأخطاء وتأخير الغلاف الجوى أو المدار كما تعمل أيضاً على تحسين التوزيع الهندسى للأقمار (الدوب) وبالتالى الحصول على موقع دقيق. ويمكن أن تستخدم أشباه الأقمار فى المطارات لمساعدة الطائرات عند الاقتراب من المدرجات وفى مداخل الموانئ البحرية والممرات الملاحية الضيقة.

ويوضح الشكل (٥-٢) هندسية مقدار الخطأ Geometry، فبالنسبة لأخطاء الساعات الذرية فى القمر أو مدار القمر، فإن قيمة الخطأ تكون واحدة لكل من المحطة الفرقية والراصد حتى مسافة بينهما تصل إلى ٥٠٠ كم، أما تصحيح تأخير الأيونوسفير فإنه يكون مطابقاً تماماً بالقرب من المحطة المرجعية ويزداد بالبعد عنها.



شكل (٥-٢): **Differential GPS Geometry**

٥-٢ العوامل المحددة لاستخدام التصحيح الفرقي

هنـاك عـاملان أساسـيان أو شـرطان أساسـيان حتـى يمكـن للمسـتخدمين Users للنظـام الفرقـي مـن اسـتخدام التصحيحـات الفرقيـة للمحطـة المرجعيـة:

الشرط الأول: أن يكـون الراصـد قـد اسـتخدم نفـس الأقمـار التـي استخدمتها المحطة الفرقية حتـى يمكـن القـول بـأن أخطـاء المـدار وأخطـاء السـاعات الذريـة الموجـودة علـى مـتن الأقمار قـد تم تصحيحـها.

الشرط الثاني: أن يكـون الراصد أقرب ما يمكـن مـن المحطـة الفرقيـة حتـى تكـون مؤثرات الطبقة الفرقيـة لها نفس القيمـة علـى كـل مـن المحطـة المرجعيـة والراصـد فـي نفـس الوقـت، وبـالطبع إذا كـان الراصـد بعيـد بعـض الشئ عـن المحطـة المرجعيـة فـإن ظـروف التـأمين ومسـار الإشـارات اللاسـلكية الـدوارة مـن الأقمـار لكل مـن المحطـة مختلفـة عـن تلـك التـي تصـل إلى الراصـد وبذلـك فـإن قيمـة التصحيـح لا تكـون مطابقـة علـى الراصـد الـذي يقـع بعيـدا عـن محطـة الإسـناد أو المحطـة الفرقيـة.

٥-٣ التصحيحات الفرقية

٥-٣-١ تصحيح الموقع Position Correction

لتحديـد الموقـع سـواء فـي المحطـة الفرقيـة أو للراصـد (User) فإنـه يلـزم استخدام أربعة أقمار صناعية في سماء الرصـد فـي آن واحـد. وحيـث أن عـدد الأقمار المتاحة في أي مكان يزيد عن أربعة أقمار وقد يصـل إلى ٩ أقمـار فـي بعض الأماكن، فإذا كان لدينا هذا العدد مـن الأقمـار، فـإن احتمـالات تحديـد الموقع بواسطة أربع أقمار مختارة من تسع أقمار يكون عددا كبـيرا قـد يصـل إلى ٦٠ احتمال، فإذا كان لدينا خمسة أقمار فقـط فـوق سمـاء محطـة الإسـناد، فـإن ذلـك العـدد مـن الأقمـار يتيـح خمسـة احتمـالات لرصـد أربعـة أقمـار مـن خمسة وهكذا تزداد الاحتمالات بزيـادة عـدد الأقمـار.

ومحطات الإسناد التي تعتمد على تصحيح الموقع (إحداثياً) خط عرض وخط طول وارتفاع يجب أن يكون لديها إمكانيات مميزة وكبيرة بحيث يمكنها رصد وتحديد الفرق الناشئ عن كل أربعة من مجموعات الأقمار الصناعية الموجودة وقت الرصد ويجب عليها عن طريق كود معين من بث وإرسال تصحيحات الأقمار الصناعية على النحو المبين على سبيل المثال:

الأقمار	(١، ٢، ٣، ٤)	تصحيح رقم (١)	C_1
الأقمار	(٢، ٣، ٤، ٥)	تصحيح رقم (٢)	C_2
الأقمار	(٣، ٤، ٥، ٦)	تصحيح رقم (٣)	C_3
الأقمار	(٤، ٥، ٦، ٧)	تصحيح رقم (٤)	C_4

وهكذا فقد يبلغ عدد هذه الاحتمالات إلى ستين احتمال وهذا يتوقف على عدد الأقمار المتواجدة والصالحة للرصد في مكان المحطة الفرقية ويتم إذاعة التصحيحات في تتابع (C_1) ثم (C_2) ثم (C_3) وهكذا... وتستغرق إذاعة جميع التصحيحات فترة زمنية معينة.

وعلى الراصد سواء السفينة أو الطائرة أو المستخدم الذي يرغب في تصحيح موقفه من انتقاء التصحيح المناسب وفقاً للأقمار التي يستخدمها جهاز الاستقبال في السفينة، فإذا كان يستخدم الأقمار (المجموعة الأولى) عليه إضافة التصحيح الأول (C_1) وإذا كان يستخدم المجموعة الرابعة عبر الانتظار حتى أداء التصحيح الرابع (C4).

٥-٣-٣ تصحيح المدى أو شبه المسافة Pseudo Range Correction

في هذا الأسلوب من التصحيح تقوم المحطة المرجعية والتي نعلم موقعها تماماً وبدقة ونعلم إحداثياتها الفراغية ($X, \ Y, \ Z$) برصد الأقمار الواقعة في سمائها، والعناصر الغير دقيقة أو الغير معلومة في معادلة خط الموقع من كل قمر تكون إحداثيات القمر الصناعي في مداره (X_s, Y_s, Z_s)، أما الإحداثيات المعلومة في معادلة الموقع بند (٤-٧-٢) فهي (X_u, Y_u, Z_u) وحيث أن:

$$PR = \sqrt{(X_s - X_u)^2 + (Y_s - Y_u)^2 + (Z_s - Z_u)^2} + b$$

فإن العناصر الأربعة المجهولة هي إحداثيات القمر الصناعي (X_s, Y_s, Z_s) بالإضافة إلى تأخير الوقت في طبقة الأيونوسفير.

وبالتالي يمكن للمحطة المرجعية معرفة المسافة الحقيقية للقمر الصناعي عن مركز الكرة الأرضية (R_s) بالإضافة إلى الخطأ الناشئ عن تأخير طبقة الأيونوسفير.

وتقوم المحطة الفرقية بحساب المسافة الحقيقية للأقمار الواقعة في سمائها وتبث هذه القيم للسفن والطائرات والمستخدمين بالقرب منها ويقوم الراصد الذي يرغب في تصحيح موقعه باستخدام الإحداثيات الحقيقية (X_s, Y_s, Z_s) المذاعة بواسطة المحطة الفرقية واستخدامها في معادلات حساب الموقع المرصودة بواسطة جهاز الاستقبال في مكانه فيتم التغلب تماماً على أخطاء مدارات الأقمار الصناعية وأخطاء ساعاتها الذرية بالإضافة إلى تصحيح تأخير الأيونوسفير والذي يكون مطابقاً تماماً إذا كان خط الأساس بين الراصد والمحطة المرجعية قصيراً وتقل الدقة أو يزداد الفرق كلما كان مكان الراصد بعيداً عن المحطة الفرقية وبذلك يكون عدد التصحيحات الواجب على المحطة الفرقية إذاعتها لا يزيد عن عدد الأقمار الواقعة في سمائها وهي أفضل كثيراً من طريقة تصحيح الموقع الإجمالي.

وتتميز طريقة تصحيح المسافات بالآتي:

أ- تقوم محطة الإسناد بإرسال تصحيحات جميع الأقمار الظاهرة وهذا يسمح للراصد المتحرك بالقرب من المحطة أن يختار مجموعة الأقمار التي تتناسب مع موقعه.

ب- يمكن استخدام أي نوع من أجهزة الاستقبال وليس بالضروري أن يكون نفس النوع المستخدم في موقع المحطة الفرقية.

ولكن من الضروري أن تكون أجهزة الاستقبال على السفن أو الطائرات مجهزة ببرامج استقبال وإضافة التصحيحات الفرقية.

٥-٤ بث التصحيحات الفرقية Transmission of DGPS Data Corrections

تقوم المحطات الفرقية بإرسال التصحيحات الفرقية للسفن والطائرات والمستخدمين بالقرب منها مستخدمة عدة تقنيات على ترددات الراديو Radio Link، ومما هو جدير بالذكر أن تأخير وصول الإشارات الحاملة للتصحيح الفرقي يتسبب في عدم دقة الرصد، فإشارة GPS تتغير بصفة مستمرة بتغير الظروف الجوية وعوامل أخرى منها تغير موقع الأقمار الصناعية في مداراتها، فكلما زادت الفترة الزمنية بين رصد المحطة الفرقية للأقمار وبين وصول التصحيح إلي السفينة أو الطائرة يزداد معامل الخطأ أو تقل درجة التصحيح.

وجميع أجهزة الاستقبال تحتاج إلي فترة من الزمن لحساب التصحيحات وفترة التأخير تسمى فترة الكمون Latency ويشتمل هذا الكمون على زمن إرسال التصحيح وهو على قدر كبير من الأهمية، وفي بعض المحطات الفرقية يتم الإرسال بمعدل ٥٠ بايت/ثانية بمعنى أنه يستغرق حوالي ١٠ ثواني حتى يمكن بث وإرسال التصحيح إلي المستخدم User لكل الأقمار المتاحة، وترسل التصحيحات من المحطة الفرقية وفق نظام بروتوكول دولي Radio Technical Commission for Maritime Service (RTCM).

يتوقف نوع الإرسال والترددات المستخدمة في بث تصحيحات المحطات الفرقية على المستخدم أو الراصد، وعموماً فإن التصحيحات تكون صحيحة بدرجة عالية إذا كان الراصد قريباً من المحطة الفرقية وتقل الدقة إذا كان الراصد يقع بعيداً عن المحطة الفرقية،وعموماً فقد تستخدم التصحيحات الفرقية حتى مسافة (١٠٠-١٥٠) ميل، وقد كان مسموحاً لدى الراصد أن يقبل أخطاء تتراوح بين (٨-١٠) أمتار.

وتختلف الترددات المستخدمة في بث وإرسال التصحيحات وقد يصل مدى إرسال الترددات المتوسطة إلى حوالي ٢٥٠ ميل ولكن هذا المدى يتوقف على قدرة محطة الإرسال Transmission Power وتأثير طبقة الأيونوسفير ومحيط الشوشرة Ambient Noise حول المحطة الفرقية وجهاز الاستقبال وقدرة السطح على الامتصاص Surface Conductivity.

أولاً: الملاحة البحرية

تستخدم الترددات البحرية المتوسطة (MMF) في حدود تتراوح بين (٢٨٥-٣٢٠) ك.هرتز وتقوم المحطات الفرقية ببث إشاراتها وفقاً لكود (RTCM) بواسطة أجهزة إرسال وهوائيات التردد البحرى المتوسطة، ويستطيع الراصد البحرى استقبال إشارات المحطات الفرقية بنفس جهاز الاستقبال GPS المعد والمجهز لاستقبال التصحيحات الفرقية.

وتقوم هذه الأجهزة تلقائياً أو آلياً بتعديل الموقع وفقاً للتصحيحات التى تحصل عليها إذا كان الراصد واقفاً فى محيط تغطية ومدى انتشار الموجات المتوسطة أي فى حدود ١٠٠-١٥٠ ميل.

ثانياً: بالنسبة للطائرات

تستخدم الترددات العالية (VHF) والتعديل الترددى (FM) لقدرتها على الانتشار فى خطوط مستقيمة وتصل إلى الطائرات التى تعمل على ارتفاعات كبيرة وتكون على خط النظر مع المحطات الفرقية الأرضية بصفة دورية على الكود الخاص بالطائرات (RCTA).

ويتم بث التصحيحات لكافة التطبيقات بسرعة عالية جداً تتراوح بين ٢-٣٠ م.ثانية وبنفس أساس الخريطة الذى يعمل عليه نظام GPS (WGS84).

٥-٥ الأخطاء التى يصححها النظام الفرقى

يقوم النظام الفرقى بتصحيح معظم الأخطاء التى تؤثر على قياسات الموقع فى نظام GPS على النحو التالى:

أ- أخطاء الساعات الذرية بالأقمار الصناعية:

يتم إذاعة هذا الخطأ كلياً، وهذا الخطأ يكون أكبر ما يمكن عندما تزداد الفترة بين تحديد بيانات القمر Updating عند مروره فوق محطات المتابعة الأرضية وبين محطة رصد القمر.

ب- أخطاء المدار أو موقع القمر في مداره:

أيضاً يتم إذاعة هذا الخطأ كلياً وهو أيضاً يتناسب مع الفترة الزمنية بين الرصد وبين تحديد بيانات القمر عند مروره فوق محطات المتابعة الأرضية.

جـ- خطأ تأثير طبقة الأيونوسفير:

إلى حد كبير جداً يتم تقليل قيمة هذا الخطأ وتكون التصحيحات أكثر دقة إذا كان الراصد يقع بالقرب من المحطة الفرقية ويزداد الخطأ أو تقل قيمة التصحيح إذا كان الراصد واقعاً في مكان بعيد عن المحطة الفرقية.

وبما أن الأقمار الصناعية تقع على ارتفاع كبير جداً (٢٠,٢٠٠ كم) مقارنة بالمسافة بين الراصد وبين المحطة الفرقية (٢٠٠ كم)، لذا فإن الإشارات التي تصل لكلا الجهازين تكون قد عبرت خلال نفس الشريحة الافتراضية من الغلاف الجوي وقابلت نفس التأخير وبذلك يصبح جهازي الاستقبال في المحطة الفرقية والراصد لهم نفس القيمة عن الأخطاء وتزداد قيمة الخطأ بزيادة البعد حيث يكون ارتفاع طبقة الأيونوسفير ودرجة التأين وزاوية مرور إشارات الأقمار الصناعية لدى الراصد مختلفة عنها لدى المحطة الفرقية.

د- أخطاء الإتاحية الاختيارية (SA):

رغم أن الخطأ المتعمد أو الإتاحية الاختيارية قد تم إلغاؤها في مايو عام ٢٠٠٠ وتم إدارتها إلى القيمة الصفرية، فإنه في حالة إعادة تشغيلها لأي سبب أو إدخال أخطاء أخرى فإن النظام الفرقي يكون قادراً تماماً على إزالتها بالكامل.

٥-٦ الأخطاء التي لا يمكن إزالتها بواسطة النظام الفرقي

أولاً: أخطاء ومؤثرات لدى الراصد

أ- الأخطاء الناشئة عن تعدد المسار (Multi Path) والناشئة عن الإشارات المرتدة من بدن السفينة أو من الأهداف المحيطة أو السفن المتحركة بالقرب من الراصد أو من سطح البحر في

حالة وجود أمواج أو بحر مضطرب وهي من أهم الأخطاء وأكثرها شيوعاً ولا يمكن التنبؤ بقيمتها حيث أنها متغيرة وفقاً لمكان الراصد ومكان المتغيرات المحيطة به.

ب- أخطاء الشوشرة (Noise)، وهذه قد تؤثر على أجهزة الاستقبال بالشوشرة وخاصة بالقرب من جهاز الاستقبال وتقل قيمة الشوشرة في أجهزة الاستقبال إذا كانت هذه الأجهزة مجهزة بواسطة مرشحات إلكترونية Kalman Filters.

ج- أخطاء التداخل (Interference): عندما يكون الراصد في مكان معرض للإشارات اللاسلكية التي تستخدم نفس إشارات الأقمار الصناعية (L1) أو إشارات قريبة التردد منها، فإن جهاز الاستقبال يتعرض للتداخل اللحظي أثناء استخدام هذه الترددات في غير أغراض الأقمار الصناعية؛ ومما هو جدير بالذكر أن هناك بعض الدول تستخدم شريحة الترددات (L1) في استخداماتها المحلية، وعلى ذلك إذا كانت السفينة أو الراصد يعمل بالقرب من محطات الإرسال الأرضية التي تستخدم (L1) فإن قياسات الموقع تكون معرضة لخطأ لا يمكن تصحيحه بواسطة النظام الفرقي.

د- أخطاء حركة السفينة (Ship's Motion): الموقع الذى تحصل عليه بواسطة الأقمار الصناعية هي النقطة التي يثبت بها هوائي جهاز الاستقبال. ونظراً لاحتمال حركة السفينة أثناء الدرفلة العرضية والدرفلة الطولية والحركة الرأسية Heaving Motion، فإن موقع تثبيت الهوائي يتغير ويتذبذب بمقدار درفلة وحركة السفينة وبالتالي لا يمكن تصحيح هذا النوع من الأخطاء.

ثانياً: مؤثرات خاصة بموقع المحطة الفرقية

تتعرض محطة الإسناد أيضاً لأخطاء يصعب تصحيحها ومستقلة تماماً عن ظروف الراصد.

أ- خطأ المسار المتعدد Multi Path: تتعرض المحطة المرجعية لإشارات مرتدة من أكثر من مسار وهي ناتجة عن الإنشاءات القريبة من المحطة أو من هوائيات مساعدة بالقرب منها وأقصى ما يمكن أن تفعله المحطة الفرقية هو اختيار مكان مناسب مرتفع عن سطح الأرض وبعيد عن احتمالات الانكسارات الخارجية لمسار الترددات.

ب- تأثير الشوشرة Noise Effects: تتعرض أيضاً أجهزة الاستقبال بالمحطة الفرقية لخطأ الشوشرة إذا كانت الأجهزة المستخدمة ليست مزودة بالقدر والنوع المناسب من المرشحات الإلكترونية (Filters).

ج- تأثير التداخل: قد تتعرض أيضاً أجهزة الاستقبال في المحطات المرجعية لنفس تأثير الإشارات اللاسلكية الخارجية والتي تعمل على التردد العالي (L_1) والذي يستخدم نظام الأقمار الصناعية.

ثالثاً: تأثير التميع (DOP) أو التوزيع الهندسي للأقمار

يظل تأثير التوزيع الهندسي على دقة الموقع لكل من المحطة الفرقية والراصد على حد سواء وبنفس القيم وبالتالي فإن النظام الفرقي لا يغير من موقع وتوزيع الأقمار الصناعية، وللإشارة تأثيرها سواء على المحطة الفرقية أو الراصد.

ويوضح الجدول (٦-١) قيمة الأخطاء المحتملة عند الرصد بواسطة نظام الإرسال GPS وبواسطة النظام الفرقي DGPS والذي يوضح الأخطاء التي يمكن تلاشيها وتلك التي تنخفض قيمتها بدرجة ملموسة.

جدول (٦-١): قيمة الأخطاء للنظام الأساسى والنظام الفرقى

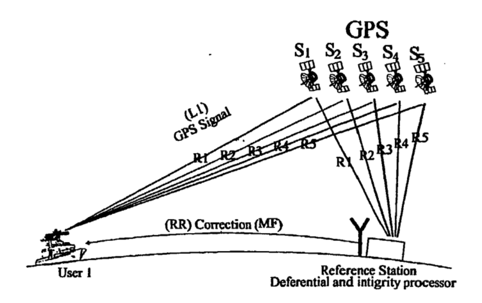
الدقة لكل قمر صناعى على حدة	النظام الأساسى GPS	النظام الفرقى DGPS
ساعات القمر	٢,١ متر	صفر
أخطاء المدار	٢,١ متر	صفر
تأثير طبقة الأيونوسفير	٤ متر	٠,٤ متر
تأثير طبقة التروبوسفير	٠,٧ متر	٠,٢ متر
شوشرة جهاز الإرسال	٠,٥ متر	٠,٥ متر
تأثير المسار المتعدد	١,٤ متر	١,٤ متر

٥-٧ النظام الفرقى المحلى Local Area DGPS (LAD)

فى هذا النظام تقوم المحطة الفرقية برصد الأقمار الصناعية فى مجال رؤيتها وإذا كان يوجد أكثر من محطة مرجعية، فإن كل منها يقوم برصد الأقمار الظاهرة لديها.

وعندما تعمل المحطات الفرقية بأساليب مستقلة عن بعضها البعض وتقوم كل محطة على حدة بإرسال تصحيحاتها مباشرة للسفينة والمستخدمين المحليين فى منطقة التغطية، فإن النظام الفرقى يكون محلى (LAD) وعلى الراصد إذا وجد فى نقطة تغطية بين محطتين أو أكثر من المحطات الفرقية أن يختار المحطة المناسبة إما يدوياً باختياره للمحطة عن طريق تحديد التردد المتوسط المستخدم فى استقبال التصحيحات أو أتوماتيكياً بواسطة جهاز الاستقبال الذى يمكنه البحث التلقائى عن المحطة الموجودة فى محيط التغطية.

ويوضح الشكل (٥-٣) النظام الفرقى المحلى والذى يعتمد على تصحيح الموقع بواسطة الأقمار التى تم استخدامها بواسطة المحطة الفرقية، ويتضح دور المحطة الفرقية فى إذاعة التصحيحات الفرقية مباشرة إلى السفن على التردد المتوسط.



شكل (٥-٣): المحطة الفرقية المحلية LADGPS
وهي تعمل على تصحيح الموقع ومتابعة صحة النظام

ويوجد العديد من المحطات الفرقية موزعة حول العالم في الولايات المتحدة وأوروبا واليابان واستراليا والهند، أما على المستوى المحلي العربي فيوجد نظام فرقي في مصر والبحرين والإمارات وجاري تركيب محطتين في السعودية لتغطية النصف الجنوبي من البحر الأحمر.

وتتكون الشبكة المصرية من ستة محطات فرقية ثلاثة منها تغطي الساحل الشمالي والثلاثة الآخاري تغطي خليج السويس ومدخل العقبة وشمال البحر الأحمر. وقد أنشأت محطات الساحل الشمالي في مرسي مطروح والإسكندرية وبورسعيد ومحطات البحر الأحمر في رأس غارب وأم السيد والقصير.

ويوضح الجدول (٥-٢) أماكن وإحداثيات وترددات المحطات الفرقية التي تغطي الحدود المصرية لساحل البحر الأبيض المتوسط وساحل البحر الأحمر وخليج السويس.

جدول (٥-٢): مواقع وإحداثيات وترددات محطات DGPS في مصر

Broadcast Site	Freq. (KHz)	Baud. (BPS)	Latitude (N)	Latitude (S)	Status
Alexandria	284	200	31 10 00 N	29 50 00 E	Online, Test Mode
Marsa Matrouh	307	200	31 21 32 N	27 14 43 E	Online, Test Mode
Port Said	290	200	31 16 22 N	31 17 30 E	Online, Test Mode
Ras Um Sayed	293.5	200	27 51 00 N	34 18 52 E	Online, Test Mode
Ras Ghareb	298	200	28 21 00 N	33 06 00 E	Online, Test Mode
El Quseir	314.5	200	26 08 12 N	34 15 40 E	Online, Test Mode

٥-٨ النظام الفرقي الواسع المدى Worldwide DGPS Service

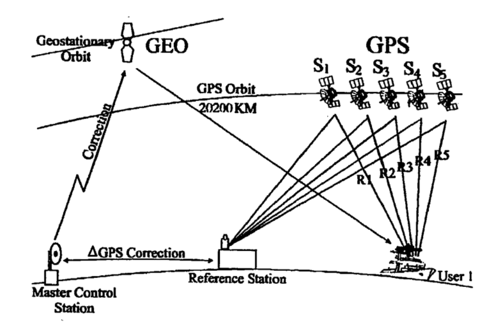
الفكرة الأساسية وراء نظام WADGPS هي إزالة أو حذف ما يسمى بعدم التناسب الفراغي الملازم لنظام DGPS والذى ينشأ عندما تزداد المسافة بين المستخدم ومحطة الإسناد الرئيسية وينعدم على أثرها وصول إشارات المحطة الرئيسية إلى المستخدم حيث أن مدى إشارات محطات DGPS المحلية تكون في حدود ٢٠٠ كم، وهنا تكمن ميزة خدمة WADGPS الذى يصل بثه إلى أغلب مناطق الكرة الأرضية وهي التغطية التى يصل إليها بث أقمار الاتصالات Geostationary Sat والتي تبث من خلالها تصحيحات WADGPS. وتستخدم إشارات ذات ترددات عالية جدا (VHF) حيث يتم إرسال التصحيحات للأقمار الصناعية عبر محطات أرضية منتشرة حول العالم ومن ثم تبثها تلك الأقمار للمستخدمين.

ويتكون نظام WADGPS من الأقمار الصناعية GPS والمحطات الفرقية DGPS ومحطة تحكم رئيسية Master Control Station وأقمار الاتصالات بالإضافة إلى أجهزة استقبال GPS المزودة بالنظام الفرقي.

وتقوم المحطات المرجعية الأرضية والمنتشرة حول العالم ببث التصحيحات والبيانات والمشتملة علي معلومات دقيقة على مدارات الأقمار Ephemeris عبر خطوط اتصالات سريعة Lease Line إلى المحطات الرئيسية وذلك

لغرض التدقيق ومن ثم إرسالها إلى أقمار الاتصالات Geostationary والتي تقوم بدورها ببثها لحظيا إلى المستخدم على التردد العالي، ويستقبل المستخدم هذه الإشارات عبر أجهزة استقبال خاصة وهي عديدة وتصنعها أيضا شركات عديدة وتقوم ببث خدمة التصحيحات الفرقية مقابل رسوم اشتراك أو استخدام؛ وتتميز هذه الخدمة بتوفير التصحيحات الفرقية (DGPS) بالإضافة إلى بيانات عن صحة النظام وصحة الأقمار الصناعية Integrity بصفة دورية لأي راصد مشترك في معظم أنحاء العالم، وأشهر هذه الأنظمة الواسعة هي النظام الأمريكي (WAAS) والنظام اليابانى (MSAS) والنظام الأوروبى (Sky Fix) و(Star).

ويوضح الشكل (٥-٤) فكرة عمل النظام الفرقي الواسعة النطاق (WADGPS) والتي توضح أن أهم نقاط الاختلاف بينه وبين النظام المحلى هو أن التصحيحات الفرقية تصل إلى المستخدم (User) عن طريق الأقمار الصناعية الخاصة بالاتصالات، وقد تكون هذه الأقمار هي أقمار الاتصالات البحرية Inmarsat أو اتصالات خاصة أو أي أقمار من التي تستخدم في البث التليفزيوني وتكون واقعة على المدار الثابت Geostationary.



شكل (٥-٤): مبادئ النظام الفرقي الواسع النطاق WADGPS

٥-٩ تطبيقات النظام الفرقي

توجد تطبيقات عديدة للنظام الفرقي DGPS وإذا كانت كلها يمكنها الحصول على دقة عالية وآمنة من حيث صحة وانتظام عمل الأقمار الصناعية ورغم انتهاء العمل مؤقتا بنظام الأخطاء المتعمدة (SA) إلا أن أخطاء الانكسار في طبقات الجو المؤينة ما زالت تشكل مصدرا رئيسيا لانخفاض دقة النظام الأساسي GPS ويمكن إيجاز تطبيقات النظام الفرقي في الاستخدامات التالية.

أولا: في مجال الملاحة البحرية

أفاد كثيرا النظام الفرقي في تعظيم الدقة في مجال الملاحة البحرية خاصة بالقرب من السواحل وعند الاقتراب من الممرات المائية وفي قنوات الاقتراب من الموانئ وفي القنوات الملاحية الضيقة فإن الدقة التي تصل إلى عدة أمتار (٢-٤ متر) تساعد كثيرا في تأمين حركة الملاحة في جميع الظروف. كما استفادت منه وحدات حرس

السواحل ومكافحة التسلل أو التهريب من البحر. كما يستخدم النظام الفرقي في أعمال رصد ومراقبة المساعدات والعائمات الملاحية Monitoring ومراقبة موقعها للتحذير في حالة إزاحتها من مكانها.

كما استخدم النظام الفرقي بكفاءة عالية وبصورة متكاملة مع أنظمة التعرف الأتوماتيكي Automatic Identification Systems والتي تم تصميمها لتكون أنظمة إجبارية لمراقبة حركة المرور البحري مع مراكز خدمة المرور Vessel Traffic Service (VTC) والتي بموجبها أصبح في الإمكان التعرف على جميع السفن المجهزة بنظام (AIS) وموجودة عند مداخل الموانئ والممرات الملاحية وبالقرب من مراكز خدمات المرور البحري.

كما أفاد النظام الفرقي في أعمال رسم الخرائط البحرية بعد أن أصبحت مواقع العلامات الإرشادية أكثر دقة وخطوط الساحل أكثر تحديداً وأمكن رسم كنتورات الأعماق وتحديد طبوغرافية القاع بتفاصيل لم يكن من الممكن تحديدها بدون نظام دقيق لتحديد الموقع من النظام الفرقي.

ثانياً: في مجال الملاحة الجوية

بالإضافة إلى أن النظام الفرقي يوفر دقة عالية للمستخدمين في محيط وبالقرب من المحطات الفرقية إلا أنه يوفر خدمة هامة خاصة للطيران وهي تأكيد صحة النظام الأساسي (Integrity) حيث تتمكن المحطات الفرقية من اكتشاف أي عطل أو عدم انتظام للبيانات التي ترسلها الأقمار الصناعية ويمكنها التحذير المباشر للمستخدمين أو التدخل لاسلكياً لحجب بيانات الأقمار الغير سليمة من الاستخدام في الطيران، وبذلك فإن النظام الفرقي يوفر دقة واعتمادية عالية للطيران في مراحل الاقتراب (CATI) من المهابط والاستثناء عن الأنظمة التقليدية المكلفة في الهبوط مثل (ILS) International Landing System وخاصة في حالة انخفاض الرؤية.

كما يمكن بمساعدة النظام الفرقي للطيران جدولة حركة الطائرات Air Traffic بتزويد الطائرات بواسطة أنظمة التعرف الآلية (AIS).

ثالثاً: الاستخدامات العلمية

أولى الاستخدامات العلمية للنظام الفرقي هو الاستخدام في أغراض المسح البحري الهيدروجرافي وسواء كان النظام الفرقي DGPS نظام المحطات التابعة أو المحطات المتحركة DGPS Mobili والتي تستخدم في مسح خطوط الساحل والأماكن القريبة وعلى خطوط أساس قصيرة بين أجهزة الرصد المرجعية وأجهزة الرصد المتحركة كما استخدم في تحديد الموقع الدقيق للأخطار الملاحية تحت سطح الماء وتحديد الأجسام القادمة والتي تشكل خطراً على الملاحة. كما أن النظام الفرقي قد أفاد كثيراً في تحديد أماكن منصات البترول والحفارات ومد خطوط البترول على قاع البحر ومد خطوط وكابلات الاتصالات البحرية وفي أعمال علوم البحار الفيزيائية Physical Oceanography؛ فقد أفاد النظام الفرقي في تحديد موقع العائمات المستخدمة في رصد حالة البحار والأمواج ودرجات الحرارة وقياس التيارات البحرية وبيانات الحركة الراسية لمستوى سطح البحر سواء المدية منها أو المناخية ولهذا فإن استخدام النظام الفرقي قد فتح آفاق متجددة في المجالات العلمية بالإضافة إلى مساهمة النظام الفرقي كنظام متكامل مع أنظمة المعلومات الجغرافية Geographical Information System (GIS). كما استخدم النظام الفرقي في أعمال مسح الطرق والمدن وتحديد محاور الكباري وما إلى ذلك من أعمال الهندسة المدنية التي تتطلب دقة عالية فأصبح في الإمكان توفير هذه الدقة مع سرعة كبيرة جداً في رصد البيانات وتحليلها وفي مجال حماية البيئة البحرية أصبح من الممكن تتبع ورصد حركة البقع الزيتية أو الملوثات البحرية وتقليل مدة الاستجابة Response للكوارث البحرية.

الفصل السادس

أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الروسية والأوروبية

Navigation Systems Using Russian and European Satellites

٦- أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية الروسية والأوروبية (بخلاف جي بي أس)

٦-١ نظام الأقمار الصناعية الروسي

Global Navigation Satellite System (GLONASS)

بدأ الإعداد لهذا النظام منذ عام ١٩٧٠ وتم الإعلان عنه رسمياً عام ١٩٨٢ حيث تم إطلاق أول أقمار هذه المجموعة من قاعدة تايرتام (Tyuratam) بوسط آسيا.

يعتمد نظام جلوناس الروسي على الإرسال المستمر لإشارة مشفرة على ترددين أساسيين يمكن استقبالهما من أي مكان على سطح الأرض لتحديد الموقع والوقت والسرعة وهو يعتمد على قياس المسافات تماماً كما هو الحال في النظام الأمريكي جي بي أس.

٦-١-١ المجموعة الفضائية Space Segment

أطلقت الأقمار الصناعية الروسية في مجموعات ثلاثية بواسطة الصاروخ بورتون Porton من قاعدة الإطلاق تايراتام بوسط آسيا، وتتكون المجموعة الفضائية من ٢٤ قمراً وتميز بأرقام تعتمد على رقم المدار ورقم القمر، فمجموعة الأقمار يتم نشرها في ثلاث مدارات بكل منها ٨ أقمار بالمدار الأول يحتوي على الأقمار من(١-٨) والمدار الثاني (٩-١٦) والمدار الثالث (١٧-٢٤) وتبتعد المدارات الفضائية عن بعضها بمقدار ١٢٠° أما تباعد الأقمار داخل كل مدار فيصل الى ٤٥°.

حتى سنة ١٩٩٦ وصل عدد الأقمار التي تم وضعها في مداراتها ١٢ قمراً فقط في مدارات دائرية تقريباً على ارتفاع يصل إلى حوالي ١٩١٠٠ كيلو متراً وتميل على مستوى خط الاستواء بمقدار ٦٤,٨° وفترة دوران كل منها حوالي ١١ ساعة و١٥ دقيقة و٤٤ ثانية وتكرر دورة المسارات كل ١٧ دورة كاملة.

أما محطات المتابعة الأرضية لهذا النظام فإنها تتوزع على الأراضي الروسية بحيث يمكنها رصد كل تردده على الأقل كل دورة وتتركز المحطات

الرئيسية للمتابعة فى كل من بيترسبرج، تريتبول، راينسيك، كوسوسكيو وآمور.

ويشتمل المدار الأول حالياً على ثلاث أقمار فقط هي (٦،٤،٣) أما المدار الثاني فبه ٦ أقمار هي (١٦،١٥،١٣،١١،١٠،٩) أما المدار الأخير فبه أربعة أقمار فقط هي (٢٥،٢٠،١٨،١٧).

٦-١-٣ الترددات GLONASS Frequencies

تقوم الأقمار الصناعية فى نظام جلوناس بإرسال إشاراتها بصفة مستمرة على ترددين على النافذة العالية والسبب فى إرسال ترددات بصفة مستمرة بحيث تتمكن من تصحيح تأخير طبقة الأيونوسفير فى حسابات تحديد الموقع.

التردد الأول (L_1) ومقداره ١٦٠٢ ميجا هرتز

حيث (fo)= (١٦٠٢ م.هـ)، (I= ١-٢-) $(L_1) = fo + I(fg)$

$(fg) = 0.5625$ MHz

والتردد الثاني (L_2) ومقداره ١٢٤٦

وتبلغ النسبة بين التردد الأول إلى الثاني $(L_1/L_2 = {}^9/_7)$

كما يستخدم النظام شفرتين (كود) الأول يسمى الكود الواضح (C/A) ويسمي (PRSA) في جلوناس وطول الموجة به مقداره ٥٨٦,٧ متراً والكود الثاني ويسمى الكود الدقيق وطول موجته مقدارها ٥٨,٦٨ متراً أي أن طول الموجة في الكود العادى مقداره عشرة أضعاف طول الموجة فى الكود الدقيق تماماً مثل أطوال الكود المستخدم فى النظام الأمريكى (جى بى أس).

ويتميز نظام جلوناس منذ البداية بعدم وجود أخطاء متعمدة (SA) كما كان في نظام جى بى أس. كما أنه يتيح استخدام ترددين (L_1)،(L_2) فى نفس الوقت وذلك لمعادلة تأثير تأخير طبقة الأيونوسفير.

٦-١-٣ الدقة Accuracy

نظام جلوناس متاح للاستخدام التجارى للملاحة البحرية والملاحة الجوية ولتحديد الموقع فى الاستخدامات العلمية الأخرى وتتقارب كل من الدقة فى نظام جلوناس مع دقة نظام جى بى أس حيث أن معظم المؤثرات التى تؤثر على نظام جى بى أس هي نفسها التى تؤثر على دقة الموقع فى جلوناس غير أن جلوناس قد يغير بعض الشيء فى عدم وجود إمكانية الخطأ المتعمد (SA) كما أن طول المستخدمة أقصر من طول الموجة فى نظام جى بى أس حيث تبلغ حوالي ١٦ سم وبذلك فإن الدقة خاصة فى تحديد الموقع الثابت أقصر من نظام جى بى أس.

٦-٢ النظام الأوروبى للأقمار الصناعية (إجنوس)

European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS)

من الواضح أن أنظمة الملاحة بالأقمار الصناعية فى مطلع الألفية هى أنظمة عسكرية سواء النظام الأمريكى GPS أو النظام الروسى GLONASS وكلاهما يخضع للإدارة العسكرية فى كلا الدولتين مما جعل الدور السياسى والاستراتيجى لأوروبا وعلى الأخص الاتحاد الأوروبى الذى يضم ١٣ دولة يتراجع كثيراً مما جعل الاتحاد الأوروبى يفكر ملياً فى إنشاء نظام خاص به يمكن الاعتماد عليه فى التطبيقات الحيوية للدول الأوروبية.

إلا أن الجانب الاقتصادى لإنشاء نظام مستقبل كان له بريقاً شديداً حيث أن الطلب على خدمة تحديد الموقع بالأقمار الصناعية طلباً عالياً وغير مرن مما ساعد أوروبا على اتخاذ قرارها فى إنشاء منظومة أقمار صناعية خاصة بها تمتلكه وتديره إدارة مدنية ويحقق لها استقلالية القرار السياسى والاستراتيجى ويعمل على فتح أسواق للعمل للآلاف من الأوروبيين بالإضافة الى تحقيق عوائد مالية ناتجة عن ضرائب المبيعات وتكلفة الخدمات النوعية الخاصة.

وانتهجت أوروبا خطة فى تطوير نظام للملاحة عن طريق منظومة أساسية للأقمار الصناعية Global Navigation Satellite System (GNSS).

والمرحلة الأولى فى (GNSS) هى إنشاء منظومة EGNOS ثم يليها نظام جاليليو فى الفترة بين (٢٠٠٥ إلى ٢٠٠٨) والذى يغطى القارة الأوروبية

مثـل النظـام الفرقـى الـذى يغطـى أمريكـا فقـط (WAAS) أو النظـام الفرقـى اليابـاني الواسـع النطـاق (MCAS) .

٦-٢-١ مكونات نظام EGNOS

نظـام إجنـوس هـو نظـام لإدارة خدمـات مميـزة للأنظمـة الأساسـية المتاحـة فـى فـترة الإنشاء مـن (٢٠٠٠ إلى٢٠٠٢) وهـو النظـام الأمريكـى والنظـام الروسـى .

أولاً: المجموعة الفضائية Space Sequent

تتكــون المجموعــة الفضائيــة لنظــام إجنــوس مــن الأقمــار الصناعيــة المتاحـة وذلـك بتأجـير أو اسـتخدام كـل مـن النظـام الأمريكـى الـذى يتكـون مـن ٢٤ قمـراً بالإضافـة الي المتـاح حاليـاً مـن أقمـار صناعيـة فـي النظـام الروسـى وهـو حـوالى ١٤ قمـراً، أي أن نظـام إجنـوس قـد عمـل علـي زيـادة عـددُ الأقمـار المسـتخدمة فـى آن واحـد مـن ٢٤ قمـراً فـى النظـام (جـى بـى أس) إلى حـوالى ٣٨ قمـراً فـى النظـام المشـترك وهـذا بـالطبع يسـاعد علـى تحسـين الإتاحيـة Availability ومنـها تحسـين مستوى الدقـة الناشـئة عـنِ التوزيـع الهندسـى للأقمـار الصناعيـة (DOP).

ثانياً: مجموعة المحطات الفرقية

يعمـل نظـام إجنـوس علـى توفـير معلومـات خاصـة بـأثر تأخـير إشـارات الأقمار الصناعية فى طبقة الأيونوسفير وبذلك فإنـه يعتمـد علـى تجميـع وتحليل البيانات التي يحصل عليها من المحطـات العديـدة التـى تنتشـر فـى كـل مـن أوروبـا وأفريقيـا وبعـض الأجـزاء القريبـة مـن آسـيا. وهـو بذلـك يعمـل كنظـام فرقـى واسـع النطـاق Wide Area Differential System (WAD).

وتقـوم المحطـات الرئيسـية فـى بعـض المنـاطق الجغرافيـة بتجميـع البيانـات مـن المحطـات الفرقيـة الفرعيـة ومنـها الى المسـتخدمين سـواء للملاحـة البحريـة أو الجويـة أو المـرور الـبرى عـن طريـق أقمـار الاتصـالات البحريـة Inmarsat التـى تغطـى القـارة الأوروبيـة وهـي القمـر

الشرقي بالمحيط الأطلسي (AOE) والقمر الذي يغطي المحيط الهندي (IO).

ثالثاً: مجموعة أقمار الاتصالات (Inmarsat)

يستخدم نظام إجنوس قمرين من مجموعة أقمار إنمارسات وهي الأقمار التي تغطي أوروبا؛ (AOE) و(IO) وأقمار الاتصالات تختلف عن أقمار الملاحة حيث أن ارتفاعها كبير جداً ويصل الى ٣٦٤٠٠ ك م وتكون متطابقة على مستوى خط الاستواء والذي بها أقمار ثابتة نسبياً بالنسبة لحركة الأرض وتستخدم هذه الأقمار في استخدامين أساسيين هما:

أ- تستخدم كمحطات لبث التصحيحات مباشرة الى أجهزة الاستقبال بنظام إجنوس للتصحيح الفرقي وفقاً لموقع الراصد على ترددات عالية جداً وآنية في نفس الوقت.

ب- تستخدم أقمار الاتصالات في بث التحذيرات بطريقة مباشرة إلى المستخدمين لهذا النظام في حالة عطل أي من الأقمار الصناعية وذلك في فترة وجيزة لا تتعدى ٥,٦ ميكروثانية وفقاً لمتطلبات المنظمة الدولية للطيران المدني (ICAO) وهو ما يعرف بصحة وشمولية النظام (Integrity).

ج- تستخدم هذه الأقمار بعد تزويدها بأجهزة إرسال نظام جي بي أس كأقمار صناعية خاصة بنظام (جي بي أس) وبذلك فإن عدد الأقمار بنظام (جي بي أس) قد زاد بمقدار (قمرين) في مدارات تختلف عن مدارات المجموعة الأساسية لنظام (جي بي أس). ويجب ملاحظة أن مرسلات (جي بي أس) التي تثبت على أقمار الاتصالات البحرية الثابتة سوف يعمل على توفير إشارات هذه الأقمار كمرسلات جي بي أس بصفة دائمة للمستخدمين في القارة الأوروبية وبالطبع أيضاً على القارة الأفريقية وهو إرسال مستمر حيث أن أقمار الاتصالات

Geostationary تدور في مداراتها بنفس السرعة الذاتية مثل سرعة دوران الأرض.

وينتج عن هذا زيادة عدد الأقمار المتاحة للرصد بمقدار قمرين بالإضافة الى كل من أقمار جي بي أس التي يمكن رصدها في أي وقت فوق أوروبا وأقمار جلوناس الروسية؛ وهكذا فإن هذه المنظومة تتيح للراصد في أي مكان في أوروبا وجود ما يقرب من ٣٦ قمراً تختار منهم أجهزة الاستقبال أفضل أربعة أقمار والتي توفر توزيع هندسي (DOP) منخفض جداً للحصول على الموقع الدقيق.

٦-٣ نظام الملاحة الأوروبي جاليليو Galileo

يعمل الاتحاد الأوروبي بالمشاركة مع وكالة الفضاء الأوروبية (ESA) على إنشاء نظام ملاحي أوروبي باستخدام الأقمار الصناعية الفضائية مماثلاً ومشابهاً لنظام الملاحة جي بي أس. ويمثل نظام جاليليو المرحلة الثانية في منظومة الأقمار الصناعية الأوروبية بعد النظام (GNSS1) أو (EGNOS):

European Geostationary Navigation Overlay Service

ويتكون نظام جاليليو بعد الانتهاء من إنشاؤه من عدد من الأقمار الصناعية يتراوح عددها بين ٣٠،٣٦ قمراً ملاحياً وتدور في مدارات متوسطة (MEO) حول الأرض على ارتفاع يبلغ حوالي ٢٣ ألف كم بالإضافة الى ثلاثة أقمار ثابتة (Geostationary) على ارتفاع ٣٦٤٠٠ كم لإذاعة التصحيحات ومتابعة أداء النظام (Integrity).

ويشتمل النظام أيضاً على محطات للمتابعة والمراقبة موزعة حول الأرض وسوف ترسل بيانات عن صحة النظام وصحة أداؤه (Integrity).

وعندما يكتمل النظام سوف يعمل على منافسة نظام جي بي أس في دقة الموقع الذي يوفره حيث من المنتظر أن تكون الدقة في حدود عدة أمتار نظراً لأن النظام سوف يعمل على ترددين في آن واحد. كما أن النظام سوف يقدم ثلاث مستويات من الخدمة:

الأولى: وهي خدمة لتحديد الموقع لأغراض الملاحة وستكون متاحة ومجانية لجميع المستخدمين.

الثانية: الخدمة المحكومة Control Access Service (CAS)، وهذه الخدمة سوف تقدم بمقابل اشتراك مع ضمان الإتاحية Availability والمسئولية عن صحة الموقع الذى يحصل عليه المستخدم.

الثالثة: تخصيص إشارة عالية الدقة لاستخدام السلطات والمؤسسات العلمية والعامة فى مجالات الأمن والسلامة والتطبيقات الحرجة مثل الطيران المدنى.

ومن المنتظر أن تجعل هذه المميزات الإضافية فى نظام جاليليو أداؤه متميزاً وتضمن الخدمة وتنظيم قواعد المسئولية وإدارة المشروع المدنية سوف تضاعف من الطلب على استخدام هذا النظام.

٦-٣-١ تطبيقات نظام جاليليو

بقراءة حجم الطلب الحالى على خدمة تحديد الموقع باستخدام الأقمار الصناعية نجد أنه حجم كبير وضخم ليس فقط بالنسبة لعدد أجهزة الاستقبال المتداولة ولكن أيضاً فى تنوع الخدمة. ويقدر سوق المبيعات لأجهزة الاستقبال لتحديد الموقع بالأقمار الصناعية فى أوروبا وحدها فى الفترة من ٢٠٠٥ الى ٢٠٢٥ بما يعادل ٨٨ مليون يورو أما الطلب على الخدمات النوعية لنفس الفترة فإنه يقدر بما يعادل ١,٢ مليون يورو هذا بالإضافة الى ما يمكن أن تصدره أوروبا من أجهزة استقبال وتأجير للخدمة النوعية.

ومن المتوقع أن تتضاعف الأرقام المذكورة لهذا الاتجاه. وسوف تشمل تطبيقات الملاحة بنظام جاليليو كل من أعمال الملاحة البحرية والملاحة الجوية بالإضافة الى تنظيم حركة المرور البرى فى المدن وعلى شبكات الطرق الرئيسية فى مدن أوروبا Intelligent Transport System (ITS) حيث يتلقى قادة السيارات و الحافلات بيانات متجددة عن موقع السيارة بالنسبة للخريطة التى تحدد شبكة الطرق المستخدمة مع بيان متجدد عن حالة المرور والطقس وتحذيرات الأعطال ودرجة التحكم فى سرعة المرور. بما يجعل التحكم فى مرور السيارات على الطرق أمراً أكثر أماناً لمستخدمى أجهزة الاستقبال بالأقمار الصناعية مع نظام النقل الذكى (ITS).

وكذلـك بالنسـبة إلى شـبكات السـكك الحديديـة بالإضافـة الى الخدمـات النوعيـة فى أعمـال المساحة ونظـم المعلومـات الجغرافيـة.

أما استخدام نظام جاليليو مع الطيران المدنـى فإنـه بـلا شـك سيكون لـه دور رئيسـى حتلـى فـى المسـتوى الأول للطـيران (CAT-1) أثنـاء هبـوط ومغـادرة الطـائرات للمـدارج الخاصـة بـها حيـث تتطلـب دقـة عاليـة جـداً وكفـاءة (Integrity) لا تتعـدى ٥,٦ ثانيـة للتبليـغ عـن أي انحرافـات فـى بيانـات الأقمـار الصناعيـة.

٦-٣-٢ تكلفة وتمويل مشروع جاليليو

تتوقـف تكلفـة النظـام علـى عـدد وخصـائص المجموعـة الفضائيـة المرجـح أن تكـون بـين ٢٤، ٣٠ قمـراً تـدور فـى مـدارات متوسـطة الارتفـاع (MEO) ومـن المنتظـر أن تـتراوح التكلفـة بـين ٢,٢ و٣ بليـون يـورو خـلال الفـترة مـن (٢٠٠٠ إلى ٢٠٠٨) كما أنها أيضاً ستتوقف على مـدى التعـاون بـين إدارة النظـام (جـى بـى أس) وجـاليليو فـى اسـتخدام محطـات المتابعـة الأرضيـة. ومـن المنتظـر أن يقـوم الاتحـاد الأوروبـى بتمويـل المشـروع مـن برنـامج النقـل الأوروبـى أمـا إيـرادات المشروع فسـوف يعتمـد علـى ضرائـب المبيعـات وقيمـة الاشـتراكات فـى الخدمـة النوعيـة.

٦-٣-٣ مراحل تشغيل نظام جاليليو

مـن المخطـط أن يتـم إنشـاء النظـام علـى ثـلاث مراحـل باشـتراك كـل مـن الاتحـاد الأوروبـى والمسـاهمين فـى المشـروع.

المرحلة الأولى: وهـي مرحلـة التطويـر ووضـع بعـض الأقمـار فـى مداراتـها واختيـار صحـة النظـام وتتطلـب ٢,١ بليـون يـورو ويمولهـا كـل من الاتحـاد الأوروبـى ووكالـة الفضـاء الأوروبيـة (ESA).

المرحلة الثانية: اسـتكمال المجموعـة الفضائيـة وتتطلـب حـوالى ٢,١ بليـون يـورو يتـم خلالهـا وضـع جميـع الأقمـار فـى مداراتـها وإنشـاء محطـات المتابعـة الأرضيـة والمحطـات الفرقيـة وتنتـهى هـذه المرحلـة عـام ٢٠٠٨.

المرحلة الثالثة: هي مرحلة التشغيل وتتولاها كل من الشركتين العملاقتين راكال والكاتيل بالإضافة الى وكالة الفضاء الأوروبية لإنتاج أجهزة الاستقبال وتوفير الخدمة وتأجير الخدمات النوعية المتخصصة للنظام.

الفصل السابع

منظومة لوران-سي

LORAN-C System

٧- منظومة لوران-سي
LORAN-C System

٧-١ تمهيد

نظام لوران-سي هو نظام للملاحة البعيدة والمتوسطة المدى يعتمد كغيره من أنظمة الملاحة على استخدام الموجات الكهرومغناطيسية وعلى انتظام ومعرفة سرعة انتشار الموجات اللاسلكية وهو أحد الأنظمة العديدة التي تستخدم نظرية الهيبربولا.

ونظام لوران-سي يمكننا من معرفة موقع السفينة باستخدام خطوط ومنحنيات الهيبربولا كخطوط للموقع، ويتم تحديد هذه المنحنيات بقياس فرق الوقت بين وصول إشارتين على شكل نبضات قصيرة من محطتان للإرسال في نظام لوران ويكون المجال الهندسي للأماكن التي لها نفس فرق الوقت هو خط الموقع في صورة منحني هيبربولا.

ويأتي نظام لوران-سي في سلسلة أنظمة لوران التي بدأت بنظام لوران-A والتي تعتمد أيضا على قياس فرق الوقت بين وصول إشارات من محطتي إرسال على شكل نبضة أحادية.وقد أحل نظام لوران-سي جميع الأنظمة من نفس النوع. ويتميز عن الأنواع السابقة له بأنه يصدر إشارة مكونة من مجموعة نبضات تحتوى على طاقة أكبر وبذلك فإنه يحقق مدى ملاحي أكبر من غيره. ويغطي معظم سواحل شرق الولايات المتحدة وغرب البحر الأبيض المتوسط وجزء كبير من غرب الباسفيك.

والنظام يعطي تغطية كبيرة تصل الى مسافة ١٢٠٠ ميل بحرى أثناء النهار- وحوالي ١٤٠٠ ميلا عند استخدام الموجات الأرضية ويزداد هذا المدى الى ٣٤٠٠ ميل عند استخدام الموجات السماوية ويمكن استخدام هذا النظام تحت مختلف الظروف الجوية ويستخدم للملاحة البحرية والجوية على السواء.

٧-٢ شبكات نظام لوران

تعمل محطات الإرسال في نظام لوران-سي في شبكات تبث إشاراتها في توافق زمني دقيق ويستخدم معدل تكرار نبضي واحد، ويحدد الشكل الهندسي لنظام لوران-سي بحيث يوفر دقة عالية في المناطق التي تتطلب مثل هذه الدقة مثل مناطق زيادة كثافة المرور البحري أو عند الاقتراب من السواحل Land-Fall. ويمكن الحصول على دقة عالية من هذا النظام في تحديد موقع السفينة إذا كانت خطوط ومنحنيات الموقع الناتجة من توزيع المحطات تتقاطع بزوايا تتراوح بين ٢٥°،٩٠°. وطول خط الأساس أو خط القاعدة الذي يصل بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية كبير -ويتراوح بين ٦٠٠و١٠٠٠ ميل- وكلما زادت المسافة بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية كلما نتجت خطوط الهيبربولا بينهما على شكل خطوط متوازية تقريباً ويقل مقدار الانحناء بها.

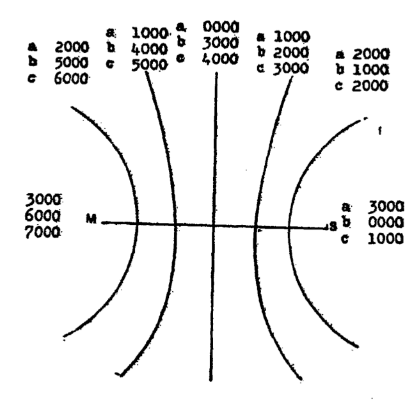
كما يقل معامل اتساع الحارات Lane Expansion بين منحنيات الهيبربولا كما أنه يعطي تغطية أكبر وعموماً فإن شبكة لوران-سي تتكون من محطة رئيسية وثلاث أو أربع محطات فرعية تأخذ الرموز S1,S2,S3 أو Z,W,Y,X.

٧-٣ نظام الإرسال Transmission

تقوم المحطة الرئيسية بإصدار إشارات على ترددات منخفضة مقدارها ١٠٠ كيلو هرتز مكونة من ٩ نبضات الفترة الزمنية لكل نبضة ٢٥٠ ميكرو ثانية والفترة الزمنية بين بداية كل نبضة والتالية لها ١٠٠٠ ميكرو ثانية أما الفترة الزمنية بين النبضة الثامنة والنبضة التاسعة فهي ٢٠٠٠ ميكروثانية وتقوم المحطات الفرعية التي تعمل مع المحطة الرئيسية في نفس الشبكة بإصدار إشاراتها المكونة من ثماني نبضات في توافق زمني دقيق مع المحطة الرئيسية وطبقاً لنظرية الهيبربولا، فإن فرق الوقت الثابت بين وصول إشارتي المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية يرسم منحنى هيبربولا يسمى خط الموقع Line-of-Position(LOP).

فإذا قامت المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية بإصدار إشاراتهما في آن واحد فإن تلك الإشارات سوف تصل الى راصد يقع على الخط المركزي المنصف لخط الأساس في آن واحد. ويكون فرق الوقت بين وصول هذه الإشارات مساوياً صفر. وإذا تحرك الراصد الذى يقيس فرق الوقت من الخط المنصف المركزى في اتجاه المحطة الرئيسية أو المحطة الفرعية فإن فرق الوقت سوف يزداد ويتكون على كلا جانبي الخط المركزى وبذلك يكون هناك غموض في معرفة مكان الراصد الصحيح على كلا جانبي هذا الخط. وللتغلب على الغموض الذى ينشأ من تساوى قراءات فرق الوقت على كلا جانبي الخط المنصف فقد صممت المحطة الفرعية بحيث تصدر إشاراتها بعد وصول إشارة المحطة الرئيسية لها أولاً أى أن يكون تأخير الإرسال عندها مساوياً لطول خط الأساس.

وحيث أن سرعة انتشار الموجات اللاسلكية ثابتة تقريباً وهي تساوى ٣ X ١٠ متر/ثانية أو تساوى ٣٠٠متر/ميكروثانية فإن وحدات المسافة في نظام لوران يمكن التعبير عنها دائماً بوحدات الزمن- فمثلاً إذا كانت المسافة بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية ٩٠٠ كم، فإنه يمكن التعبير عنها بوحدات الزمن فتكون ٣٠٠٠ ميكروثانية فإذا تصورنا وجود محطتي الإرسال M,S تفصل بينهما مسافة تعادل ٣٠٠٠ ميكروثانية وإذا كانت كلا المحطتان تبثان إشاراتهما على شكل نبضة قصيرة في آن واحد فإن الراصد الذى يتواجد على الخط المنصف بين المحطتين سوف يقيس فرق زمن مقداره صفراً، شكل (٧-١).



شكل (٧-١): فرق الوقت بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية

وإذا تحرك الراصد في اتجاه المحطة الفرعية (S) أو المحطة الرئيسية (M) فإن فرق الوقت بين وصول الإشارتين يزداد حتى يصل الى ١٠٠٠ ميكروثانية عند الخط الذى يمر بكل من النقطة P,P ويلاحظ أن فرق الوقت عند هذه النقط يساوى ضعف الوقت الذى يعادل المسافة بين هذه النقط والخط المنصف وهذا أيضا مساوى لثابت الهيبربولا.

وفى هذه الطريقة حيث توجد صعوبة فى تميز خطوط الموقع على كلا جانبى الخط المنصف حيث أن خطوط الموقع سوف يعبر عنها بمقدار فرق الوقت سوف تزداد من صفر عند الخط المنصف الى أقصى قيمة لها عند المحطة الفرعية أو المحطة الرئيسية وتوضح قراءات فرق الوقت التى يسبقها حرف (a) الإرسال الآنى لكل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية.

وللتغلب على الغموض فى تميز خطوط الموقع فى المنطقة الوسطى وعلى جانبى الخط المنصف فقد تم تشغيل محطات الإرسال بحيث تقوم المحطة

الفرعية بإطلاق إشاراتها بعد وصول إشارة المحطة الرئيسية لها بفترة تأخير للوقت تعادل طول خط الأساس.وبذلك فإن الراصد الذى يتواجد فى أى مكان على خط الأساس سوف تصله إشارة المحطة الرئيسية قبل وصول المحطة الفرعية.

وإذا تحرك الراصد من مكان المحطة الفرعية ومتحركة فى اتجاه المحطة الرئيسية على خط الأساس فإن فرق الوقت بين وصول إشارتى محطتي الإرسال ستكون صفرا عند المحطة الفرعية وتزداد الى أقصى قيمة لها عند المحطة الرئيسية وتعادل في هذه الحالة ضعف طول خط الأساس وهو ما تعبر عنه القراءات التى يسبقها حرف (b) فى الشكل (٧-١) غير أنه فى هذه الحالة يصعب تمييز خطوط الموقع التى تقع بالقرب من المحطة الفرعية حتى مسافات تصل الى نصف فترة إشارة المحطة الرئيسية حيث لا يمكن قياس فرق الوقت خلالها لذلك فقد استخدم نظام تأخير الوقت (td) والذى بموجبه تقوم المحطة الفرعية بإرسال إشاراتها بعد استقبالها لإشارة المحطة الرئيسية بفترة زمنية تزيد عن مقدار فترة الإرسال وتسمى تأخير الوقت (td) وبذلك نضمن قياس فرق الوقت وتحديد خط الموقع فى أي مكان فى منطقة التغطية وتعبر القراءات التى يسبقها حرف (C) عن فرق الوقت بعد إدخال نظام التأخير ويكون فرق الوقت عند موقع المحطة الفرعية مساويا لتأخير الوقت.

وحيث أن كل من تأخير الوقت (td) وطول خط الأساس قيم ثابتة لكل محطة فإن مجموع وقتيهما يسمى شفرة التأخير Code Delay وبذلك فإن فرق الوقت الذى يحدد موقع الراصد يتناسب مباشرة مع ثابت الهيبربولا وهو الفرق بين بعد المحطة الفرعية وبعد المحطة الرئيسية.

كما يتضح من تأخير الوقت أنه بالإضافة الى إمكانية قياس فرق الوقت من إشارات كل من المحطة الرئيسية والفرعية بالقرب من خط الأساس فإن تأخير الوقت (td) يلعب دورا كبيرا فى التمييز بين المحطات الفرعية المكونة للشبكة التى تتكون من محطة رئيسية وثلاث محطات فرعية Z, Y, X فإن أقل فرق وقت يكون في موقع المحطة الفرعية(X) ولا يقل

عن ٩٢٥٠ م/ثانية وهي فترة إشارة المحطة الرئيسية وقيمة فرق الوقت بموقع المحطة الرئيسية يكون مساويا لضعف طول خط الأساس + تأخير الوقت (2ms+td) أما فرق الوقت في موقع المحطة التابعة الثانية (Y) فيجب أن يكون أكبر من فرق الوقت في موقع المحطة الرئيسية مع المحطة (X) وأكبر قيمة للمحطة (Y) سيكون عند موقع المحطة الرئيسية حتى نصل الى فرق الوقت النهائي عند امتداد خط الأساس للمحطة (Z) وهو فرق وقت أقل من فترة تكرار الإشارة (GRI). فإذا كانت (TD) هي فرق الوقت على كل منحنى من منحنيات القطع الزائد في نظام لوران والتي تحدد موقع السفينة لكل من المحطات الفرعية الثلاثة،(td) هي تأخير الوقت الواجب إضافته لكل محطة فرعية بغرض التميز وتعبر الرموز (MX)، (MY)، (MZ) عن أطوال خطوط الأساس للمحطات الفرعية X,Y,Z والشكل (٧-٢) يوضح حدود القيم المتوقعة لفرق الوقت في أي موقع من شبكة لوران-سي.

ومن هنا يتضح أن تميز خطوط الموقع في كل من المحطات القديمة المكونة للشبكة يتم عن طريق تأخير الوقت الذي تتغير قيمته لكل محطة بحيث تميز قراءات خطوط الموقع.

أما تمييز الشبكات عن بعضها فيتم عن طريق معدل تكرار المجموعة (Group Repetition Interval) (GRI) ويلاحظ أن قيمة الـ(GRI) تأخذ في اعتبارها عدد المحطات وطول خط الأساس بين المحطة الرئيسية والمحطات الفرعية فإذا زاد عدد المحطات وزاد طول خط الأساس تزداد قيمة معدل تكرار المجموعة (GRI).

M X Y Z

- TDX min. = tdx.
- TDX max. = tdx. + 2cx
- TDY min. = tdy. > TD x max.
- TDY max. = tdy. + 2 CY
- TDZ min. = tdz. > TDY max.
- TDZ max. = tdz. + 2 C Z < GRI
- GRI

TD : Time Difference
td : Time Delay
C : Base Line Length
GRI : Group Repetetion Interval

شكل (٧-٢): حدود القيم المسموح بها لفرق الوقت لأي شبكة لنظام لوران-سي

كما يوضح الشكل (٧-٣) قيمة فرق الوقت (TD) ورقم خط الموقع لراصد يتحرك على شبكة الهيبربولا بين المحطة الرئيسية وأى من محطة فرعية والتى تميز فى الشكل بالحرف (S)؛ والمعادلة العامة لفرق الوقت هي:

$$TD = (PS - PM) + MS + td + E$$

حيث:

TD = فرق الوقت (م.ث)

PS = بعد الراصد عن المحطة الفرعية (م.ث)

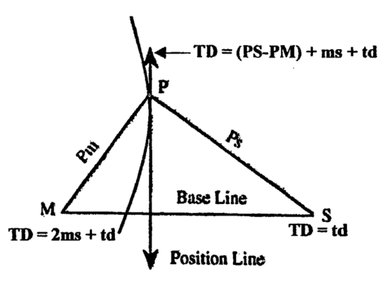
PM = بعد الراصد عن المحطة الرئيسية (م.ث)

MS = طول خط الأساس (C) (م.ث)

td = تأخير الوقت (م.ث)

E = خطأ الموجات السماوية إن وجد (م.ث)

ويلاحظ أن القيمة (PS - PM) هي قيمة ثابت الهيبربولا (2a).



شكل (٧-٣): منحنى خط الموقع

وتوضح الخرائط المصغرة للمناطق التى يغطيها نظام لوران كل من المساحات التى تشملها انتشار الموجات الأرضية والمساحات التى تشملها الموجات السماوية، كما توضح هذه الخرائط حدود الدقة الهندسية الناتجة عن تقاطع خطوط الموقع مع الأخذ فى الاعتبار مقدار الخطأ الناشئ عن الانحراف المعيارى وتقاطع خطوط الموقع، كما تشمل الكنتورات التى توضحها هذه الخرائط مقدار الخطأ الثابت فى قياس فرق الوقت والذى يبلغ ١,. ميكروثانية وهو ما يعادل ١٥ متراً على خط الأساس، ولكن هذه القيمة تزداد إذا كان الراصد يقع بعيداً عن خط الأساس، وتظهر قيمة الخطأ على شكل كنتورات الدقة الهندسية.

كما توضح خرائط التغطية كنتورات الأخطاء الناشئة عن اختلاف التأثيرات الجوية والنسبة بين قوة الإشارة الى الشوشرة (SNR) والتى تبلغ أقصى قيمة لها (٣:١).

٧-٤ معدل تكرار الإشارة Signal Repetition Rate (SRR)

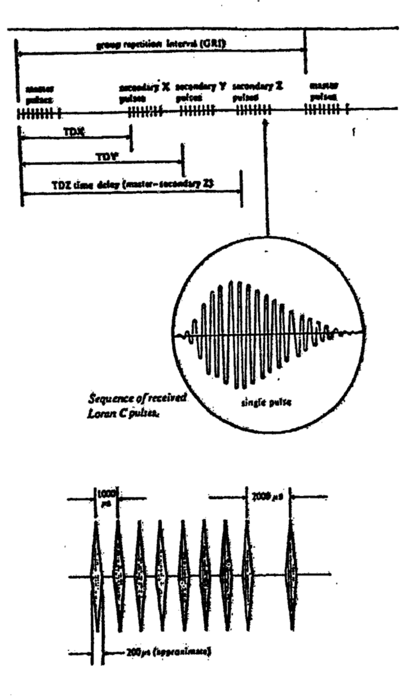
تقوم محطات الإرسال فى نظام لوران-سى بإصدار مجموعة النبضات على فترات زمنية معينة ويسمى تعاقب تكرار هذه الإشارات بمعدل التكرار النبضى الأساسى Basic Pulse Repetition Rate. وهو يعبر عن عدد الإشارات التى تصدرها المحطة فى الثانية الواحدة فإذا كان معدل التكرار مقداره ٢٠ فمعنى ذلك أن عدد الإشارات التى ترسل فى الثانية الواحدة ٢٠ إشارة- وكل إشارة مكونة من ٨ نبضات للمحطة الفرعية و٩ نبضات للمحطة الرئيسية.

٧-٤-١ فترة تكرار المجموعة Group Repetition Interval (G.R.I)

تقوم شبكات لوران-سى باستخدام معدل تكرار موحد لكل من المحطة الرئيسية والمحطات الفرعية الأخرى ويتبع ذلك بأن تقوم المحطة الرئيسية بإصدار إشاراتها أولا المكونة من ٩ نبضات وبعدها بفترة تقوم المحطة الفرعية التى تليها فى الترتيب بإصدار إشاراتها المكونة من ٨ نبضات بنفس المعدل الذى تستخدمه المحطة الرئيسية. ثم تقوم المحطة الفرعية (Y) بإصدار نبضاتها.

ومن مميزات استخدام معدل تكرار نبضى موحد هو عدم إعادة توليف جهاز الاستقبال على معدل نبضى جديد فى كل مرة يراد قراءة فرق الوقت بين محطة رئيسية ومحطة فرعية مختلفة للحصول على خط موقع جديد ويساعد على ذلك وجود أجهزة الاستقبال الحديثة التى يمكنها استقبال وقياس فرق الوقت وتحديد رقم خط الموقع لكلا المحطتين فى آن واحد (شكل ٧-٤).

وفى الأجهزة الحديثة فإننا نقوم بتحديد المعدل الموحد GRI ثم إدخال البيانات الخاصة بفرق الوقت التقريبى لكلا المحطتين فى آن واحد وفى فترة وجيزة يقوم الجهاز بحساب رقم خط الموقع الدقيق لكل محطة وإظهارها على شاشات البيان أو تحليلها حسابيا وإظهار موقع السفينة مباشرة.



شكل (٧-٤): شكل وتتابع استقبال إشارات لوران-سي

٧-٥ خصائص الترددات في لوران-سي

حيث يستخدم لوران-سي ترددات منخفضة ١٠٠ ك.هرتز فإن هذا النوع من الترددات يتميز بإمكانية انتشارها الى مسافات بعيدة متبعا مسارا لسطح

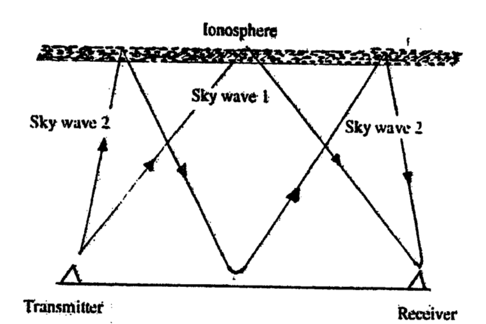
الكرة الأرضية وتسمى الموجات التى تتبع هذا المسار بالموجات الأرضية السطحية وهى تحقق تغطية ملاحية تصل الى مسافة ١٢٠٠ ميل وعلى مسافات أبعد من ذلك فإن مقدار ضعف الموجات الأرضية الذى تتعرض له هذه الترددات يصبح كبيرا (Attenuation) وبذلك فإن الموجات الأرضية من هذا التردد تتلاشى بعد هذا المدى أثناء النهار. وقد تزيد قليلا الى مسافة ١٤٠٠ ميلا أثناء الليل (شكل ٧-٥).

وتحتوى كل نبضة من النبضات التى تصدرها محطات لوران على عدد من الموجات قيمته ٢٥ موجة فترة كل منها ١٠ ميكروثانية- وتصل قوة النبضة إلى حوالى ٣٠٠ ك. وات عند إرسالها ويتوقف على مدى التغطية المطلوبة من الشبكة ففى حالة تغطية مسافات كبيرة فإن خرج الإشارة يكون كبيرا وفى حالة تغطية مسافات قصيرة وطول خط الأساس قصير نسبيا فإن قوة خرج الإشارة يكون فى حدود ٦ ك وات فقط، وتكون الصعوبة الوحيدة فى استخدام ترددات منخفضة فى نظام وران أن محطات الإرسال تتطلب هوائيات مرتفعة وشبكة معقدة لإصدار موجة ذات طاقة كبيرة جدا.

وعندما تنتشر موجات الراديو التى تصدرها محطات لوران-سى فإنها تنتشر فى جميع الاتجاهات وجزء من طاقة هذه الموجات يتبع سطح الأرض كما ذكرنا. والجزء الآخر من الطاقة يتجه الى أعلى فى اتجاه طبقات الجو العليا الى أن يصطدم بطبقات الجو المؤينة كهربيا والتى تسمى الطبقات المتأينة وعلى وجه الخصوص الطبقة (E Layer) منها. وهى على ارتفاع يتراوح بين ٧٣ ك م نهارا و٩١ ك م ليلا من سطح الأرض تنخفض أثناء النهار وترتفع أثناء الليل كما وأن درجة تأينها وكثافتها تعتمد على مقدار أشعة الشمس الساقطة عليها وتكون أقصى قيمة لها عندما تنتصف الشمس فى السماء.

وتتسبب طبقات الجو المتأينة فى فقد جزء من طاقة هذه الموجات وتعكسها الى سطح الأرض مرة أخرى وهذه الموجات التى تنعكس بفعل طبقات الجو تسمى موجات سماوية Sky Wave ويمكن استخدامها فى قياس فرق الوقت بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية على المسافات البعيدة. عندما

يصبح من غير العملي قياس فرق الوقت بين الموجات الأرضية التي يصيبها الوهن بطول ما تقطعه فوق سطح الأرض.



شكل (٧-٥): الموجات السماوية والأرضية للترددات المنخفضة

٧-٦ قياس فرق الوقت

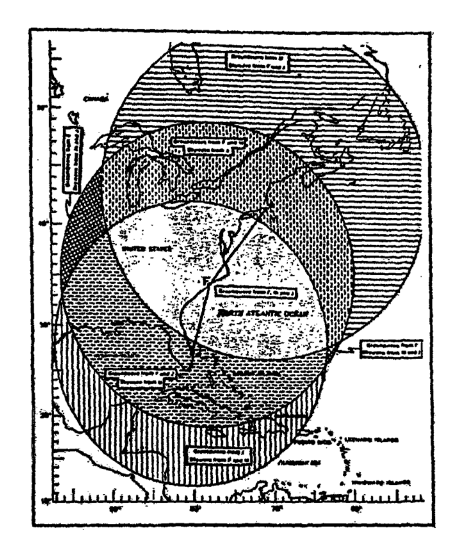
أجهزة الاستقبال لنظام لوران-سي مصممة لقياس فرق الوقت بين الموجات الأرضية من كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية.

ومن أهم الأمور في قياس فرق الوقت هو اختيار الإشارات المناسبة لقياس فرق الوقت بينهما. وعلى الراصد أن يحدد بدقة أي من الإشارات تابعة للمحطة الرئيسية وأيهما تابعا للمحطة الفرعية. وعليه أيضا أن يتنبأ بنوع الموجات التي تصله. هل هي موجات سماوية أم موجات أرضية وهذا يمكن معرفته بدراسة خريطة المنطقة التي يوجد بها الراصد ومعرفة بعد الراصد التقريبي من محطات الإرسال، ويوضح الشكل (٧-٦) مناطق تغطية الموجات الأرضية والسماوية لأحد الشبكات الموجودة على الساحل الأمريكي على سبيل المثال والتي توضح للراصد ما إذا كانت الإشارات التي يستقبلها أرضية أم سماوية، والمفضل دائما هو قياس فرق الوقت بين

الموجات الأرضية أما خارج نطاق تغطية الموجات الأرضية فلن يكون هناك بديل عن استخدام الموجات السماوية. وعندئذ يجب إضافة تصحيح خاص لقراءة فرق الوقت بواسطة الموجات السماوية. وهذا التصحيح واجب حيث أن جميع الخرائط والمنحنيات وخطوط الموقع وجداول لوران-سي قد تم حسابها على أساس فرق الوقت المقاس على الموجات الأرضية ولكن نظرا لأن الموجات السماوية تقطع مسارا أطول من ذلك الذى تقطعه الموجات الأرضية فيجب لذلك إيجاد مقدار تصحيح الموجات السماوية.

وعمليا فإنه يفضل استخدام الموجة المنعكسة الأولى من الموجات السماوية (Hop One) عن الموجة المنعكسة الثانية لأن مقدار التصحيح اللازم لمعايرتها بفرق الوقت عن طريق الموجات سيكون أقل. أما إذا استخدمت موجة أرضية من أحد المحطات وموجة سماوية من محطة أخرى فإن هناك جداول تصحيح خاصة يجب استخدامها لاستنتاج التصحيح المناسب واللازم إضافته الى قراءة فرق الوقت الناتج.

وتقوم أجهزة الاستقبال بمتابعة قراءة فرق الوقت أوتوماتيكيا بين المحطة الرئيسية واثنان من المحطات الفرعية ويتم ذلك عندما يتم توليف الجهاز على معدل التكرار النبضي الموحد (GRI) للمحطة وتحديد فرق الوقت التقريبي لكل من المحطة الفرعية الأولى والمحطة الفرعية الثانية، وتظهر قراءات فرق الوقت مباشرة بسرعة وسهولة.



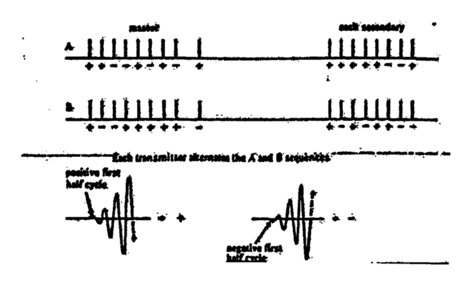
شكل (٧-٦):
تغطية الموجات السماوية والموجات الأرضية
لأحد الشبكات في شرق الولايات المتحدة

٧-٧ تمييز الإشارات

أولاً: تشفير طور الإشارة Phase Coding

حتى نضمن عدم تداخل الموجات السماوية للنبضة الأولى مع الموجات الأرضية للنبضة الثانية ونمنع التأخير الكبير للموجات السماوية من التأثير على فرق الوقت وتداخلها مع الموجات الأرضية

فـي النبضـات التاليـة لهـا فإنـه يتـم تغير طـور الـترددات الأساسـية (١٠٠ ك.هرتـز) فـي النبضـات المتتاليـة (شـكل٧-٧) بحيـث تكـون الموجـة الأولى من النبضة التالية سالبة ثم موجبة أو سـالبة مـرة أخـرى وهكـذا، وهـذا التغير فـي طـور الموجـات الأولى مـن كـل نبضـة مـن نبضـات الإرسـال سـواء فى المحطـة الرئيسية أو المحطـات الفرعيـة يمنـع الخطـأ فى قياس فرق الوقت من نبضات غير متطابقـة، كمـا يتيـح هـذا النظـام مـن التشـفير تميـز المحطـات الفرعيـة والمحطـة الرئيسية والتعـرف عليـها فيقـوم جـهاز الاسـتقبال أوتوماتيكيـاً بـالتعرف علـى إشـارة المحطـة الرئيسـية وفقـاً لشفرة معينـة ثـم يتـابع المحطـات الفرعيـة ذات الشـفرة المميـزة. أي أن النظـام الكـودى المتبـع يسـمح بتمـيز المحطـات ومتابعتـها بسـهولة وضمـان قيـاس فـرق الوقـت الدقيـق بـين المحطـة الرئيسية وكـل مـن المحطـات الفرعيـة.



شكل (٧-٧): تغير كود الإرسال

كما أن هذا النظام الـذى تتغـير فيـه طـور الموجـات المرسـلة يفيـد فـى أن الموجـات السـماوية المتأينـة للنبضـة الأولى مثـلاً لا يمكنـها أن تتداخـل مـع موجـات النبضـة الثانيـة عنـد وصولهـا متـأخرة لفـترة تزيـد

١٠٠٠ ميكروثانية، أي أنه يمكن تجنب تداخلات الموجات السماوية التى لا تتفق مع نفس الإشارة المرسلة وتقوم محطات لوران بعمل متابعة مستمرة Monitoring بواسطة محطة إضافية فى الشبكة لمتابعة انتظام وتوافق إرسال المحطات العاملة ويتم تحذير الملاحين فى حالة حدوث اختلاف فى التزامن أو خطأ فى الوقت عن طريق إشارات خاصة تظهر فى أجهزة الاستقبال (Blink).

ثانياً: تطابق الموجات وتطابق النبضات

Cycle Matching & Pulse Matching

يستخدم نظام لوران-سى الغلاف الخارجى للنبضات(Pulse Matching) لقياس فرق الزمن بين إشارات المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية وهذا القياس يعطى فرق الوقت التقريبى بينهما ولكن لزيادة الدقة فى القياس فقد صممت أجهزة الاستقبال لتوليد ترددات مطابقة لتلك التى تصدرها محطة الإرسال ١٠٠ ك.هرتز. كما تمكنت هذه الأجهزة من تكبير محتويات النبضة الواحدة حتى تظهر الترددات المكونة لهاحوالى٢٥ موجة زمن كل منها ١٠ ميكروثانية. وبدلاً من قياس فرق الزمن مباشرة بين الموجات المعينة وهى الموجة الثالثة فى كل نبضة أي بعد انقضاء ٣٠ ميكروثانية من بداية النبضة فإنه يتم قياس فرق الطور بينهما حيث تصل الدقة فى قياس فرق الطور الى جزء من المائة من فترة الموجة.

وحيث أن محطات الإرسال جميعها تعمل فى توافق زمنى دقيق أمكن استخدام مقارنة الطور لإيجاد فرق الوقت الدقيق، وحيث أن قدرة أجهزة القياس تقيس حتى ٣,٦° من فرق الطور (١٪)، فإن ذلك يعادل ٠,١ م/ث من زمن الموجة، أي أن دقة الموقع الذى تحصل عليه تصل الى ١٥ متراً ($\frac{0.1x300}{2}$). كما أن قياس الطور أسهل من قياس الوقت عند القياس الدقيق وعملية تحويل فرق الطور الى فرق

وقت أصبح أمراً ممكناً ويعطي دقة عالية جداً. أي يعتمد على قياس فرق الوقت بين النبضات ليحصل على فرق الوقت التقريبي (Coarser Time Difference) وتكون القراءات الناتجة من هذا القياس هي جزء من الآلاف وجزء من المئات/ ميكروثانية.

وتصل الدقة في قياس الوقت من مطابقة النبضات ١٪ من فترة النبضة أي ٢,٥ ميكروثانية، وهي تعادل ٣٧٥ متراً على خط الأساس.

أما القياس الدقيق فإنه يتم عن طريق مطابقة الموجات، أو الموجات الثالثة أو السابعة من كل من إشارات المحطة الرئيسية والفرعية؛ وهذا يحقق دقة تصل الى ٠,١ ميكروثانية.

ثالثاً: تميز الموجات

يستخدم نظام لوران-سي الموجات السماوية أو الموجات الأرضية في تحديد فرق الوقت بين إشارتي محطات الإرسال. واستخدام الموجات الأرضية يكون أكثر دقة. ولكن أحياناً ما تصل الموجات السماوية مع وصول الموجات الأرضية في حدود تغطية الموجات الأرضية على مسافات تقل عن ١٠٠٠ ميل وهذا بالطبع يسبب عدم دقة في القياس إذ تتداخل كل من الموجات السماوية والموجات الأرضية علماً بأن قوة الموجات السماوية تكون أكبر من الموجات الأرضية في حين أن المفروض هو قياس فرق الوقت بين الموجات الأرضية عندما يتواجد الراصد في منطقة تغطية الموجات الأرضية والتي على أساسها تم حساب خطوط ومنحنيات وجداول نظام لوران بالكامل. ونظراً لأن الموجات السماوية تقطع مساراً أكبر من مسار الموجات الأرضية، أي أن الوقت الذى تقطعه الموجات السماوية لوصولها الى الراصد أكبر فإن الموجات السماوية تصل متأخرة عن الموجات الأرضية دائماً وأقل زمن لهذا التأخير بعيداً عن محطة الإرسال هو حوالي ٣٠ ميكروثانية وهو بالطبع يتوقف على ارتفاع الطبقة المؤينة وظروف انتشار الموجات الكهرومغناطيسية ذات التردد المنخفض في وقت القياس وإذا وصلت كلا من الإشارتين الأرضية

والسماوية فإنهما سوف يتراكبان ويتسبب هذا التداخل في صعوبة قياس فرق الوقت وصعوبة في تميز الموجات الأرضية من الموجات السماوية وإذا حدث قياس بين الموجات السماوية والموجات الأرضية فإن خطأ كبيراً في تحديد فرق الوقت وبالتالي تحديد خط الموقع سوف يحدث وقد لا يفطن إليه الراصد.

وحتى تجنب الراصد هذه الصعوبة والغموض في تميز الموجات الأرضية والسماوية في المدى القريب من تغطية المحطة حيث يكون الفرق أكبر ما يمكن فقد صممت أجهزة الاستقبال بقياس فرق الوقت بين موجات المحطة الرئيسية وموجات المحطة الفرعية في الجزء الأول من النبضة أي في حوالي الثلاثون ميكروثانية الأولي.وحيث أن فترة النبضة كلها حوالي ٢٥٠ ميكروثانية فإن قياس فرق الوقت يتم عند مقدمتها وبالتحديد عند الموجة الثالثة. أما عند الموجة الأولى والثانية فإن طاقة الموجات تكون صغيرة وغالباً ما تكون غير واضحة علي المسافات البعيدة. أما إذا وصلت الموجات السماوية فإنها سوف تتداخل مع الموجات التالية للموجة الثالثة أي بعد فترة تزيد عن ٣٠ ميكروثانية.

وحتى يتم القياس على الموجة الثالثة فقط من نبضات المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية فإن أجهزة الاستقبال في نظام لوران-سي تقوم بتكبير النبضة المستقبلة أي تكبر جميع الموجات داخل النبضة بمقدار ١,٣٥ مرة فنحصل علي موجات مكبرة عن الموجات المستقبلة بالفعل ثم يقوم الجهاز بتغير الطور بمقدار ١٨٠° فقط ثم بجمع النبضة الأساسية والنبضة المكبرة فإننا نحصل على نبضة منقسمة شدتها صفراً عند الموجة الثالثة منها. وتكون نقطة القياس سهلة التميز ويمكن مقارنتها بنقطة قياس مماثلة من الموجات الخاصة بالمحطات الفرعية حيث تكون سعة الإشارة صفراً عند هذه النقطة ويوضح الشكل (٧-٨) مراحل تكبير النبضة ثم تغير طورها والحصول على محصلة تستخدم في قياس فرق الوقت عند الموجة الثالثة في

النبضة. أما على مسافات تزيد عن ١٢٠٠ ميل فإن الموجات الأرضية تكون قد ضعفت ووهنت وتلاشت بالمرة، وفي هذه الحالة يمكننا استخدام الموجات السماوية في كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية لإيجاد فرق الوقت وعندئذ فإنه من الضروري جداً إضافة تصحيحات الموجات السماوية والتي يمكن الحصول عليها من الخرائط الشبكية الخاصة بنظام لوران-سي أو من الجداول أو إيجادها رياضياً، وعموماً فإن انتشار الموجات السماوية للترددات المنخفضة يكون مستقراً في معظم الأحيان فيما عدا حوالي نصف ساعة قبل وبعد شروق وغروب الشمس فلا ينصح باستخدام نظام لوران-سي خارج حدود تغطية الموجات الأرضية مثله مثل معظم الأنظمة التي تعتمد على الموجات الكهرومغناطيسية وتستخدم ترددات منخفضة وتصدر إشارة تحذيرية من المحطة الرئيسية أو أحد المحطات الفرعية في حالة حدوث خلل أو عطل في أجهزة التزامن بين إرسال محطات الإرسال في حالة توقف الإرسال بغرض الصيانة أو الإصلاح ويكون التحذير على شكل إرسال متقطع On-Off لكل من النبضة الأولى والثانية للمحطة الفرعية التي تأثرت بهذا الخلل أو بإظهار رمز كودي دلالة على توقف إرسال المحطة الرئيسية أو إحدى المحطات الفرعية كما توضح إشارة التحذير أحد الاحتمالات التالية:

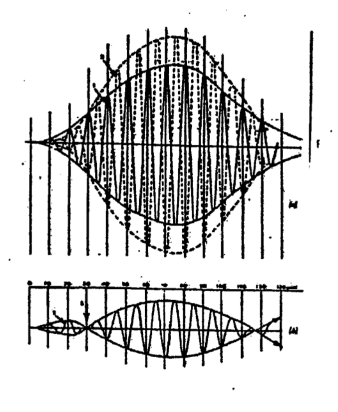
أ- أن يكون فرق الوقت المقاس غير دقيق.

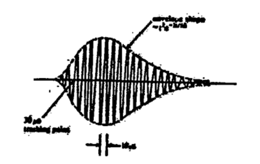
ب- عدم تطابق النبضات بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية أو عدم انتظامها.

ج- عدم انتظام معدل الإرسال الجماعي (GRI).

د- انخفاض قوة الإرسال عن المعدل المسموح به لتغطية المنطقة المنوط بها محطة الإرسال.

وتستمر إشارة التحذير في التكرار حتى يتم إصلاح الخلل.





شكل (٧-٨): مطابقة الموجات لقياس فرق الوقت في زمن الموجة الثالثة

٧-٨ تصحيح مسار الموجات السماوية Sky Wave Correction

إضافة تصحيح الموجات السماوية ضروري في حالة استخدام موجات سماوية من كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية أو موجات سماوية مع موجات أرضية مع أي من محطتي الإرسال ويمكن الحصول على مقدار تصحيح الموجات السماوية مباشرة من منحنيات تأخير إرسال الموجات

السماوية وهـذه المنحنيـات تعطـي متوسـط تأخـير الوقـت الـلازم للإشـارة التـي تصدرهـا محطـات الإرسـال لتتبـع مسـار الموجـة السـماوية المنعكسـة مـن الطبقـات المؤينـة ويمكـن إثبـات أن تصحيـح الموجـات السـماوية يكـون صفـراً عند أي نقطة علـى الخط المركزى المنصـف لخـط القـاعدة.

وعند هـذا الخـط فـإن فرق الوقـت بين الموجـات السـماوية يكـون متسـاوياً مـع فـرق الوقـت للموجـات الأرضيـة لأن كـلا الموجـات السـماوية مـن كـلا المحطتـان سـوف تتـأخر عـن الموجـات الأرضيـة بنفـس المقـدار نظـراً لتسـاوى المسافات بين الراصد وكل من محطتي الإرسـال بشرط تساوى شـروط انتشـار الموجـات السـماوية لكـل مـن المحطـة الرئيسـية والمحطـة الفرعيـة ولكـن علـى نقطـة غـير الخـط المنصـف فـإن مسـار أحـد الإشـارات يكـون أطـول مـن مسـار الإشـارات الصـادرة مـن المحطـة الأخـرى وبذلـك فـإن قـراءات فـرق الوقـت بـين الموجـات السـماوية سـوف تكـون أطـول مـن قـراءات فـرق الوقـت للموجـات الأرضيـة.

وبوجـه عـام فـإن مقـدار تصحيـح الموجـات السـماوية يكـون مسـاوياً للفـرق بـين تأخير الإرسـال للموجـات السـماوية لكـل مـن المحطتـين.

أولاً: جداول تصحيح خطأ الموجات السماوية

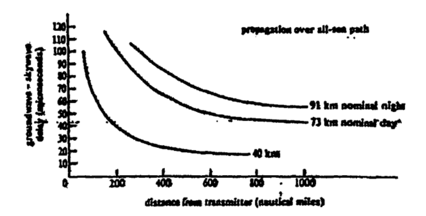
إذا تم القيـاس علـى الموجـات السـماوية (TS) فيجـب تصحيحـها حتـى نحصـل علـى مقـدار فـرق الوقـت المنـاظر لهـا علـى الموجـات الأرضيـة (TG) وقـد حسـبت قيـم هـذه وجدولـت فـي جـداول خاصـة تسـبق الجـداول الأساسـية لتحديـد خطـوط الموقـع بنظـام لـوران-سـي وقـد كتبـت هـذه التصحيحـات مقابل درجـات صحيحـة مـن خطـوط العـرض وخطـوط الطـول. وقـد يكـون مقـدار التصحيـح مسـجلاً فـي أجـهزة الاسـتقبال لـذا يجـب التـأكد مـن أن قيمـة تصحيحـات الموجـات السماوية قـد تم إضافتـها.

ثانياً: التصحيحات الخاصة

جميع التصحيحات من النوع الذى ذكر سابقاً يضاف إذا كان فرق الوقت مأخوذاً من كلا الموجات السماوية من كلا محطتي الإرسال ولكنْ إذا كانت الموجات السماوية مأخوذة من إحدى المحطتين وموجات أرضية من المحطة الأخرى ففى هذه الحالة لا يجب استخدام معادلة تصحيح الموجات السماوية. وإنما يلزم إضافة تصحيح خاص ويحدث هذا عندما يكون طول خط القاعدة كبيراً أو يكون الراصد يقع بالقرب من أحد المحطات فيستقبل منها موجات أرضية أو يكون بعيداً عن المحطة الأخرى فيستقبل منها موجات سماوية فقط وفى هذه الحالة يمكن استخدام منحنيات تأخير الوقت ويستخرج مقدار تأخير الموجات السماوية عن الموجات الأرضية بالنسبة للمحطة البعيدة عنه. وتضاف هذه التصحيحات إذا رصدت موجة سماوية من المحطة الرئيسية وموجات أرضية من الحطة الفرعية (شكل٧-٩).

بالإضافة الى منحنيات تأخير الوقت التى صممت الى ارتفاعين فقط من ارتفاعات الطبقات المؤينة ٩١ ليلاً،٧٣ نهاراً فإنه يمكن استخراجها من جداول التصحيح الخاصة التى تسبق جداول إيجاد خطوط الموقع فى جداول لوران-سى.

وبوجه عام فإن قياس فرق الوقت بين الموجات السماوية غير مفضل فى الأماكن التى تتطلب معرفة الموقع بدقة ولكن على مسافات بعيدة عن الساحل حيث تقل الحاجة الى دقة عالية فى تحديد الموقع فإن الموجات السماوية يمكنها أن تعطى دلالة جيدة على موقع السفينة وتبلغ الدقة المتوقعة فى هذه الأماكن حوالى ٢ ميل أما بالقرب من محطات الإرسال فإن دقة الموقع قد تصل الى ربع ميل بينما تصل الى ١٥ متراً فقط على خط الأساس.



شكل (٧-٩): منحنى تصحيح الموجات السماوية

ثالثاً: معادلة تصحيح مسارات الموجات السماوية

١- إذا استخدمت الموجات السماوية من كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية (TS)، فإن مقدار التصحيح بالميكروثانية يمكن إيجاده بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\text{Sky Wave Correction (Es)} = \frac{20h^2}{3}\left(\frac{Ds - Dm}{Ds \times Dm}\right)$$

حيث:

Es = مقدار التصحيح بالميكروثانية

h = ارتفاع الطبقة المؤينة بالكيلومتر

Ds = بعد الراصد عن المحطة الفرعية بالكيلومترات

Dm = بعد الراصد عن المحطة الرئيسية بالكيلومترات

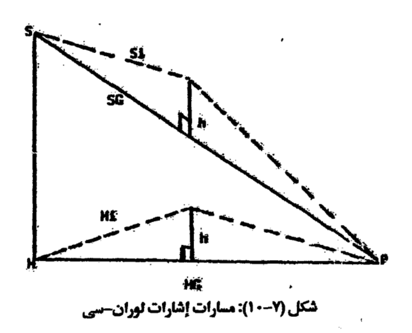
٢- إذا كانت السفينة تقع بالقرب من المحطة الرئيسية وبعيدة عن المحطة الفرعية بحيث استخدمت الموجات الأرضية من المحطة الرئيسية والموجات السماوية من المحطة الفرعية TGS فتكون معادلة تصحيح الخطأ كالتالي:

$$EGS = \frac{20h^2}{30\,Dm}$$

٣- إذا كانت السفينة واقعة بالقرب من المحطة الفرعية وبعيداً عن المحطة الرئيسية فإنها تستخدم الموجات السماوية من المحطة الرئيسية والموجات الأرضية من المحطة الفرعية (TSG) وتكون معادلة تصحيح الموجات السماوية كالآتي:

$$ESG = \frac{20h^2}{30\,Ds}$$

ويوضح الشكل (٧-١٠) الاحتمالات الثلاثة لاستقبال إشارات كل من المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية حسب بعد كل منهما عن مكان الراصد وعموماً فأنه على مسافة تبعد حوالي ١٠٠٠ ميل من محطة الإرسال فإن الاستقبال يكون على الموجات السماوية بينما تكون الموجات الأرضية ضعيفة جداً.



شكل (٧-١٠): مسارات إشارات لوران-سي

ويمكن تلخيص الاحتمالات الأربعة للاستقبال كالآتي:

$TG = MG - SG$	----------------	(1)
$TS = Mi - Si$	----------------	(2)
$TGS = MG - Di$	----------------	(3)
$TSG = Mi - SG$	----------------	(4)

حيث:

MG مسار أرضي للمحطة الرئيسية

Mi مسار سماوى للمحطة الرئيسية

SG مسار أرضي للمحطة الفرعية

Si مسار سماوى للمحطة الفرعية

ولكن الموجة السماوية (Mi) يمكن استبدالها بقيمة كل من المسافة على الموجة الأرضية وارتفاع الطبقة المؤينة (h).

$$\frac{1}{2}Mi = \sqrt{\left(\frac{1}{2}MG\right)^2 + h^2}$$

$$= \frac{1}{2}MG\sqrt{1 + \frac{h^2}{\frac{1}{4}(MG)^2}}$$

Bionomial Expansion

$$= MG\left(1 + \frac{2h^2}{(MG)^2}\right)$$

$$\therefore Mi = MG + \frac{2h^2}{MG}$$

أي أنه يمكن التعويض عن المسار السماوى بالمسار الأرضى وارتفاع الطبقة المؤينة سواء للمحطة الرئيسية أو المحطة الفرعية لاستنتاج المعادلة العامة لتصحيح خطأ الموجات السماوية (ES).

٧-٩ دقة الموقع Position Accuracy

بوجه عام فإن نظام لوران-سى يوفر دقة عالية للموقع المرصود وعلى مسافات كبيرة من محطات الإرسال ويتميز باعتمادية Reliability عالية، وكغيره من جميع الأنظمة الإلكترونية التي تعتمد على موجات الراديو وعلى خصائص منحنيات القطع الزائد (الهيبربولا) فإنه قد يتعرض لبعض الأخطاء أو أن دقته تقل في بعض الأماكن من منطقة التغطية أو في بعض الأوقات من اليوم. ومن أكثر العوامل التى تؤثر على دقة الموقع هو التوزيع

الهندسي لشبكات لوران وبالتالي امتدادات منحنيات وخطوط الموقع الناشئة بها هندسة تقاطع هذه الخطوط في مكان الراصد. وحيث أن معظم أجهزة الاستقبال في نظام لوران والحديثة تعطي الموقع الجغرافي لخط العرض وخط الطول مباشرة بدون الرجوع إلى خرائط لوران الشبكية أو الجداول وبالتالي فإن الراصد لن تكون لديه صورة واضحة لموقع محطات الإرسال وموقع السفينة النسبي لهذه المحطات حتى يدرك شكل تقاطعات خطوط الموقع من أكثر من محطة وبالتالي يصعب عليه تقييم مقدار الخطأ الناشئ عن الدقة الهندسية حيث يفضل اختيار المحطات التي تعطي خطوطاً للموقع تتقاطع مع بعضها في مكان الراصد بزوايا قريبة من الزوايا المتعامدة (٩٠°).

كما أن عدم معرفة الراصد لبعده التقريبي من محطات الإرسال قد تجعله يغفل عن إضافة تصحيحات الموجات السماوية في حالة استقبالها؛ وهذان العاملان أي زاوية التقاطع وتصحيح مسار الموجات السماوية قد يسببان خطأ كبيراً في إحداثيات الموقع المرصود، وتتوقف دقة المرصود بنظام لوران على العوامل التالية: الدقة الجيومترية، الدقة التكرارية، والدقة المطلقة.

أولاً: الدقة الجيومترية — **Geometric Accuracy**

أ- التوزيع الهندسي للمحطات

ب- تقاطع خطوط الموقع

ج- تدرج خطوط الموقع

د- معامل تمدد الحارات.

تنشأ خطوط الموقع في نظام لوران -كغيره من الأنظمة التي تعتمد على نظرية الهيبربولا- على شكل منحنيات يكون الخط المنصف منها بين المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية خطاً مستقيماً عمودياً على خط الأساس، أما خطوط الموقع على كل من جانبي الخط المنصف، فإنها تأخذ في الانحناء التدريجي وتتباعد نهاياتها بعيداً عن الخط المنصف وتتبع في تباعدها أو زيادة المسافة بينها معامل تمدد الهيبربولا الذي يتناسب عكسياً مع جا ١/٢ الزاوية المحصورة

بين اتجاه المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية المقاسة من موقع الراصد، فكلما كانت الزاوية صغيرة كلما زاد مقدار تمدد المسافات بين منحنيات الهيبربولا والذى يسمى بتمدد الحارات Lane Expansion، فعندما يتحرك الراصد على خط الأساس فإن فرق الوقت الذى يحدد خطوط الموقع سوف يتغير بمقدار ٠,١ ميكروثانية كل ١٥ متر، وفى مكان آخر خلاف خط الأساس فإن دقة جهاز الاستقبال فى قياس فرق الوقت سوف تقل وبالتالى تزداد قيمة الخطأ بنفس قيمة معامل التمدد الذى تزداد به المسافة بين منحنيات وخطوط الموقع ويبلغ هذا المعامل -والذى يطلق عليه أيضاً تدرج خطوط الموقع Line of Position Gradient- أقصى قيمة له على طول امتداد خط الأساس خلف المحطة الرئيسية أو المحطة الفرعية حيث تكون الزاوية المحصورة بين كل المحطات مقدارها صفر ويكون معامل التمدد أو التدرج لا نهائي، وحتى إذا كان مقدار الخطأ فى قياس فرق الوقت قيمة صغيرة جداً فإن قيمة الخطأ تصبح لا نهائية؛ ولذلك لا يجب استخدام النظام فى تحديد الموقع على امتداد خط الأساس خلف محطات الإرسال Base Line Extension (BLE) أي أن العامل الأول فى تحديد قيمة الدقة الهندسية هو انحناء خطوط الموقع وتدرج تباعدها عن بعضها Expansion of Gradient، ويجب ملاحظة أن مقدار الانحناء في منحنيات الهيبربولا يزداد عندما يكون طول خط الأساس بين محطتي الإرسال قصيراً ويقل هذا الانحناء أو يقل التدريج عندما يكون خط الأساس كبيراً.

أما العامل الثاني الذى يجب ملاحظته لتحديد دقة الرصد هو أن موقع الراصد يتم حسابه بواسطة تقاطع خطين من منحنيات الموقع، وكما نعلم فإن أفضل موقع نحصل عليه فى أعمال الملاحة بصفة عامة عندما تتقاطع خطوط الموقع بزاوية قائمة، وكل من هذين العاملين وهما تدرج خطوط الموقع وزاوية التقاطع بين خطي

الموقع تحددان مقدار الدقة الهندسية أو الجيومترية Geometric Accuracy وتتسبب في وجود منطقة من عدم التأكد أو مساحة خطأ متغير، ويوضح الشكل (٧-١١) الشكل الجيومترى Geometry of Position لنظام لوران للموقع (P) المحدد بواسطة خطي موقع من كل من المحطة الرئيسية (M) والمحطة الفرعية (S_1) والمحطة الفرعية (S_2) فتكون زاوية تقاطع الخطين (B) كالآتي:

$$\text{Angle of Cut} = 0.5\ (\theta_1 + \theta_2)$$

حيث:

θ_1 : هي الزاوية بين اتجاه المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية الأولى (S_1)

θ_2 : هي الزاوية بين اتجاه المحطة الرئيسية والمحطة الفرعية الثانية (S_2)

وكلما اقتربت هذه الزاوية من ٩٠° كلما قلت مساحة الخطأ الناشئ عن الدقة الهندسية وكلما قلت هذه الزاوية تزداد مساحة المنطقة.

وتكون منطقة عدم التأكد على شكل دائرة نصف قطرها:

$$\text{rms} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}$$

حيث:

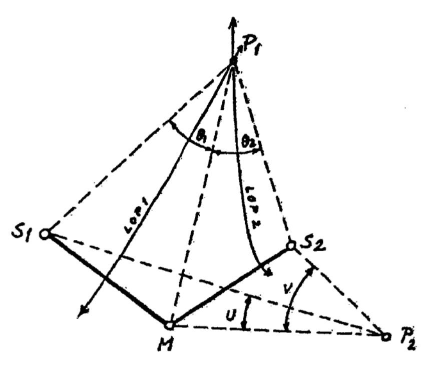
δ_1، δ_2 هما الانحراف المعيارى لكل من خطي الموقع الأول والثاني.

أما إذا كانت زاوية التقاطع بين خطوط الموقع (P) أقل من ٩٠° فإن مساحة الخطأ تتحول من دائرة ذات نصف قطر إلى شكل بيضاوى له نصفي قطر أحدهما أكبر من الآخر ويؤخذ الطول الأكبر كأساس لقيمة الخطأ كالتالي:

$$\text{rms} = \text{cosec P} \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + 2K\delta_1\,\delta_2 \cos B}$$

حيث (K) هي قيمة الارتباط بين كل من الانحراف المعيارى الأول (δ_1) والانحراف المعيارى الثاني (δ_2)، وقيمة الخطأ المشار إليها تمثل ٪٦٨ من الاحتمالات في مساحة نصف قطرها القيمة التي نحصل عليها من المعادلة المذكورة. ولزيادة احتمالات الثقة في قيمة الخطأ تؤخذ ضعف هذه القيمة وتسمى (2drms) وتصل الاحتمالات لهذه القيمة المضاعفة إلى ٪٩٨ من مجموع الرصدات ويعبر الحرف (d)

عن اتجاه غير محدد أو يعنى أن قيمة الخطأ تكون فى أي اتجاه من النقطة محل الاهتمام.



شكل (٢-١١): زاوية التقاطع بين خطي الموقع

ثانياً: الدقة التكرارية **Repeatable Accuracy**

ينشأ الخطأ المؤثر على الدقة التكرارية من العوامل التالية:

أ- الشوشرة

ب- تداخلات الموجات

ج- التغير فى سرعة الانتشار

د- التغيرات المناخية.

الدقة التكرارية هي قياس قدرة جهاز الاستقبال أو النظام على رصد موقع معين ثم التحرك في مسافات واتجاهات مختلفة ثم العودة إلى نفس الموقع السابق رصده باستخدام نفس جهاز الاستقبال. فإذا استطاع الراصد أن يعود مرة أخرى لنفس الموقع وبنفس قراءات فرق الوقت أو الإحداثيات فإن الدقة التكرارية تكون عالية جداً.

غير أن قدرة النظام على تحقيق الدقة التكرارية تعتمد على العوامل الهندسية التى تم ذكرها فيما سبق وهي تدرج المنحنيات وزاوية تقاطع خطوط الموقع كما تعتمد على الاختلاف فى قياس فرق الوقت، هذا الاختلاف الذى قد ينتج عن الشوشرة الكهربائية التى يمكن أن تؤثر على أداء استقبال جهاز الاستقبال أو التداخل أو تأثير المناخ وأيضاً على مقدرة جهاز الاستقبال نفسه Electronic Limitation وعلى استقرار وانتظام محطات الإرسال.

وحيث أن هذه الاختلافات والانحرافات غير منتظمة بل وعشوائية ومن الصعب التنبؤ بها ولذلك فإنه يجب التعبير عن اصطلاح الدقة Accuracy بمعايير الاحتمالات Probability وليس بالمعايير المطلقة Absolute.

وللأغراض العملية فإنه من المقبول أن نعبر عن قيمة الدقة التكرارية بمقدار نصف قطر من الدائرة التى تحتوى على ٩٥٪ من احتمالات وجود الموقع بداخلها فى منطقة معينة والتى نطلق عليها 2drms Error أو الخطأ المروحي Radial Error. ومن المهم بالطبع عند استخدام جهاز استقبال جديد لنظام لوران أو عندما نقوم بأعمال مسح بحرى أن نعاير الجهاز لمقدار الدقة التكرارية ونقوم بمتابعة قراءة فرق الوقت بالميكروثانية حتى وإن كان الجهاز من النوع الحديث الذى يحدد إحداثيات الموقع بخط الطول وخط العرض حتى نتجنب أي خطأ عند حساب هذه الإحداثيات الجغرافية واحتمال الاختيار الأتوماتيكى لمحطتي الإرسال الذى يمكن أن يقوم بها الجهاز دون أن يشعر الراصد بأن الجهاز قد تحول من خلية إلى أخرى أو من شبكة إلى أخرى فى نفس المنطقة.

وبالطبع فإن الإجراء الملاحي التقليدى لتحسين مقدار الدقة التكرارية هو أخذ المتوسط الحسابى لعدد من القراءات التى ترصدها فى نفس الوقت وفى نفس المكان، أما إذا كان رصد الموقع يتم فى نفس المكان وعلى فترات مختلفة تتغير فيها التأثيرات

المناخيــة فإنــه يجــب حســاب الانحــراف المعيــارى Standard Deviation للموقــع المرصــود.

ثالثاً: الدقة المطلقة Absolute Accuracy

تتأثر الدقة المطلقة بالعوامل التالية:

أ- سرعة الانتشار

ب- خطأ قياس فرق الوقت

ج- خطأ التزامن بين المحطات

د- معامل تمدد الحارات.

الدقة المطلقة هي قدرة النظام الملاحي على تحويل فرق الوقت من خليتين من نظام لوران إلى موقع مرصود مطابق للموقع الجغرافي الذى يوجد به الراصد. هذا التحويل من فرق الوقت إلى إحداثيات جغرافية لخط الطول وخط العرض تعتمد على ثبات سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية التى تنتشر فوق سطح الأرض. هذه السرعة قد تم تحديدها بدقة فوق سطح البحر ولكن فوق اليابس أو الأرض فإن قيمة السرعة تنخفض بقيم مختلفة نظراً لاختلاف معامل توصيل الأرض Earth Conductivity، وفى المعتاد فإن خرائط لوران وكذا أجهزة الاستقبال التى تقوم بتحويل فرق الوقت إلى إحداثيات جغرافية تعتمد فى حسابات الموقع على فرضية هامة وهي أن سرعة الانتشار هي تلك السرعة المساوية لانتشار الموجات فوق مياه البحر Sea Water، ولكن عندما تمر موجات لوران فوق اليابسة فإن سرعتها سوف تختلف قليلاً عن السرعة التى تم بواسطتها حساب الإحداثيات الجغرافية للموقع وسوف يتسبب هذا الاختلاف فى السرعة الحقيقية عن السرعة الحسابية للانتشار فى وجود اختلاف فى فرق الوقت فى موقع الرصد وهذا الاختلاف أيضاً الذى يطلق عليه الاصطلاح Additional Secondary Factor (ASF) يتأثر بكل من الاتجاه ومعامل الانتشار Expansion وزاوية التقاطع بين خطوط الموقع، ويجب ملاحظة أنه بالقرب من امتداد خط الأساس (BLE)

فإن الاختلاف البسيط في سرعة الانتشار (ASF) قد يسبب خطأ كبيراً في الموقع المرصود. ومن الأخطاء الأخرى التي قد تتعرض لها أعمال الرصد بواسطة نظام لوران هي أخطاء التزامن Synchronization Error بين كل من المحطة الرئيسية وأي من المحطات الفرعية والتي تسبب خطأ في الإحداثيات الجغرافية، غير أن شبكات لوران تزود بمحطات متابعة Monitoring Stations لمتابعة ومراقبة دقة التزامن بين إشارات محطات الإرسال، وبالإضافة إلى ذلك فقد ينشأ الخطأ عن المكونات الداخلية لجهاز الاستقبال والذى قد لا يفطن إليه الملاح أو المستخدم ولذلك فإنه من المفضل مقارنة ومعايرة جهاز الاستقبال بأجهزة أخرى لتحديد الموقع لاكتشاف أي اختلافات كبيرة في الموقع غير تلك التي قد نتوقعها من مصادر الأخطاء الأخرى، وقد يكون الخطأ ناشئ عن تعرض هوائي المستقبل إلى شوشرة شديدة Severe Noise Conditions. وعلى ذلك فإن الدقة العامة لنظام لوران تعتمد على عدد من العوامل التي لا يجب إغفالها وهي متداخلة مع بعضها فتزداد الدقة بالقرب من خط الأساس وتقل بعيداً عنه. ويمكن إجمال العوامل المؤثرة في العناصر التالية:

١- تزامن وتطابق إرسال محطات الإرسال
٢- قدرة أجهزة الاستقبال على القياس الدقيق
٣- تصحيحات الموجات السماوية
٤- موقع الراصد من محطات الإرسال
٥- البيانات الواردة في جداول وخرائط لوران
٦- زاوية تقاطع خطوط الموقع
٧- معامل تمدد الحارات في منطقة الراصد
٨- تدرج خطوط الموقع ومقياس رسم الخريطة
٩- قدرة جهاز الاستقبال على مقاومة الشوشرة
١٠- المؤثرات الكهرومغناطيسية الناتجة عن التأين أو الطقس.

٧-١٠ التأثيرات الخارجية

أولاً: تأثير الدوبلر Doppler Effect

مـن خصـائص الإشـارات الكهرومغناطيسـية بوجـه عـام أن تردداتـها لا تتغـير بزيـادة المسـافة التـى تقطعـها، فـإذا كـان كـل مـن المرسـل والمسـتقبل ثـابتين فـإن الـترددات التـى تُرسـل هـي نفسـها الـترددات التـى تُستقبل، ولكـن إذا حـدث أن أي مـن المرسـل أو المسـتقبل تحـرك فـى اتجـاه الآخـر أو بعيداً عنـه أي أنـه تنشأ حركـة نسـبية بـين كـل مـن المسـتقبل والمرسـل، فـإن الـترددات التـى تسـتقبل تختلـف اختلافـاً بسـيطاً عـن تلـك التـى أرسـلت ويكـون فـرق الـترددات المرسـلة والمسـتقبلة (ft-fr) دالـة لمقـدار السـرعة النسـبية بينـهما فكلمـا زاد فـرق الـترددات دل ذلـك علـى زيـادة السـرعة النسـبية بينـهما وتسـمى هـذه الظـاهرة بـالدوبلر وتبلـغ قيمـة هـذا التأثـير ذروتـها إذا كـانت السـفينة متحركـة فـى اتجـاه إحـدى محطـات الإرسـال أو بعيـداً عنـها.

ثانياً: تأثير الشوشرة Noise Effect

فـى الأسـاس فـإن المـدى المؤثـر لاسـتخدام نظـام ديكـا والدقـة التـى يمكـن الحصـول عليـها تتوقـف علـى مقـدار النسـبة بـين الشوشـرة / إلى قـوة الإشـارة المرسـلة. وتقـوم محطـات الإرسـال ببـث إشـاراتها بـالقوة المناسـبة حتـى تضمـن وصـول إشـاراتها إلى المـدى المطلـوب تغطيتـه، ففـى الأمـاكن التـى يُتوقـع تغطيـة النظـام إلى مسـافات بعيـدة نسـبياً، فـإن قـوة البـث تـزداد فـى هـذه المحطـات عـن تلـك التـى تعمـل لتغطيـة مسـافات أقـل، كمـا يؤخـذ فـى الحسـبان مقـدار التأثـيرات والشوشـرة الناتجـة عـن جـو المنطقـة، كما أنـه يتوقـع أن تقـل الدقـة إذا قلـت النسـبة بـين قـوة الإشـارة إلى قـوة الشوشـرة المتوقعـة فـى المنطقـة (Signal/Noise)، وبـالطبع فإنـه مـن المحتمـل أن يتعـرض جـهاز الاسـتقبال إلى تداخـلات شـديدة محليـة تؤثـر علـى قـوة الإشـارة مثـل التأثـير الاسـتاتيكى لترسـيب المطـر، ويمكـن التنبـؤ بـهذه التداخـلات واحتمـال وجـود الشوشـرة ومعاملـة القـراءات الناتجـة بحـذر- كمـا أنـه قـد

تحدث شوشرة وتداخلات أخرى إذا كان هناك إرسال من أجهزة أخرى تعمل على نفس الترددات التي يعمل عليها النظام.

الفصل الثامن

قياس الأعماق بالصدى

The Echo Sounding

٨- قياس الأعماق بالصدى

٨-١ المبادئ العامة لقياس الأعماق General Principles

من المهم أن نتعرف في هذه الدراسة على حقيقة مؤداها أن أجهزة الجس بالصدى لا تقيس العمق مباشرة ولكنها تقيس فقط الوقت المستغرق لنبضة صوتية تقوم بإرسالها بين لحظة الإرسال ولحظة الاستقبال بعد انعكاسها وعودتها من قاع البحر، ويتم بعد ذلك تحويل فرق الوقت إلى عمق بمعرفة سرعة انتشار الموجات الصوتية في الماء والتي يُفترض أنها ثابتة في المنطقة التي يتم فيها حساب العمق؛ أي أن:

$$D_o = \frac{1}{2} t V_o$$

حيث أن:

D_o = العمق المقاس

V_o = سرعة الصوت في الماء وهي = ١٥٠٠ متر/ثانية

t = الفترة الزمنية التي تستغرقها النبضة الصوتية التي تطلقها وحدة الإرسال حتى تصل إلى القاع وتعود مرة أخرى لتستقبلها وحدة الاستقبال بجهاز جس الأعماق.

فإذا كان العمق الموضح بواسطة جهاز جس الأعماق مطابقا للعمق الحقيقي، معنى ذلك أن الجهاز قد قام بقياس وقت إرسال النبضة الصوتية واستقبالها صحيحا، وكذلك فإن سرعة الصوت في الماء -والتي تم افتراض صحتها هي الأخرى- ولكن دائما ما يكون هناك اختلاف في السرعة الافتراضية للصوت في الماء عن السرعة الحقيقية ولذلك فإنه يتم إدخال تعديل أو تصحيح بسيط في قيمة الزمن المقاس بحيث يقوم بالتعويض عن قيمة الاختلاف في سرعة الصوت وبحيث يكون الناتج -وهو العمق المقاس- مطابقا للعمق الحقيقي وقت الجس.

وتتكون أجهزة جس الأعماق بوجه عام من الوحدات الرئيسية التالية:

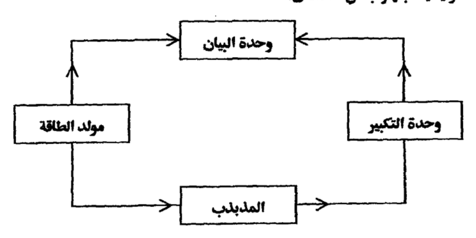
- وحدة توليد الذبذبات Oscillators
- وحدة الإرسال/الاستقبال Transducers

- وحدة التكبير Amplifier

- وحدة البيان/التسجيل Recorder/Indicator

وعادة ما تكون هذه الوحدات مركبة في حافظة واحدة ما عدا وحدة الإرسال والاستقبال والتي تتكون من مرسل ومستقبل أو وحدة واحدة تؤدي كلتا الوظيفتين وتثبت في قاع السفينة في اتجاه قاع البحر.

وتقوم وحدة توليد الإشارة أو الذبذبة بتوليد إشارة كهربائية على شكل نبضات قصيرة يمر جزء صغير منها إلى وحدة البيان لإيضاح بدء الإرسال، والجزء الأكبر من طاقة الإشارة يمر إلى جهاز الإرسال الذي يقوم بتحويل الإشارة الكهربائية إلى اهتزازات ميكانيكية تحدث الإشارة الصوتية المطلوبة وتنتشر هذه النبضة الصوتية إلى القاع وعندما ترتد مرة أخرى في اتجاه السفينة فإن وحدة الاستقبال تقوم بتحويل الاهتزازات الصوتية إلى إشارة كهربائية يتم تكبيرها بواسطة وحدة التكبير ومنها إلى وحدة البيان التي تقوم بإيضاح مقدار العمق أسفل السفينة وذلك بإشارة صوتية أو بالتسجيل على ورق حساس خاص، ويوضح الشكل (٨-١) المكونات الرئيسية لجهاز جس الأعماق.



شكل (٨-١): المكونات الرئيسية لجهاز جس الأعماق بالصدى

يطلق جهاز توليد المذبذبات الصوتية في الماء موجات صوتية عبارة عن اهتزازات ميكانيكية تتكون من مجموعة من التضاغطات والتخلخلات المتعاقبة تنتشر بانتظام خارج مولد الذبذبة.

ويمكن استخدام عواكس الموجات لتركيز هذه الموجات في حزمة مركزة في اتجاه واحد لتركيز طاقة النبضة فيه ومن ثم يتوقف مقدار الكفاءة في قياس العمق على دقة العوامل المتغيرة التي تحدد قوة وشكل واتجاه تركيز الطاقة وإرسال واستقبال هذه النبضات.

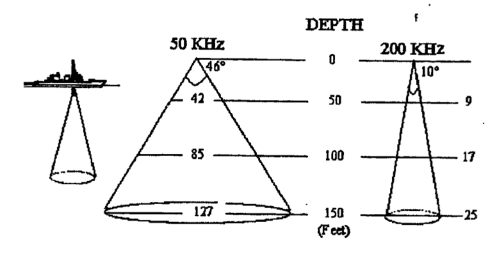
٨-٣ الترددات Frequencies

يعتمد نوع ومقدار التردد المستخدم في أجهزة قياس الأعماق على نوعية الأعماق التي يراد قياسها، بمعنى أنه إذا كان العمق كبيراً فإننا نحتاج إلى موجات ذات طول موجي كبير وطاقة عالية أي موجات ذات تردد منخفض، وبالتالي يمكن للموجة أن تنتشر إلى أعماق كبيرة وكذلك تقاوم الانخفاض أو التضاؤل في طاقتها والذي ينتج عن اصطدامها بعوائق صلبة أثناء انتشارها في القاع لعدة طبقات وفي النهاية تحدد عمق وشكل الطبقة العاكسة للموجات الصوتية في الماء؛ وفي الوقت الذي تمتاز فيه الموجات ذات الترددات المنخفضة بالمميزات السابقة إلا أن الموجات الطويلة تتطلب مذبذب ذو حجم وطول كبيرين يتناسبان مع الموجة الطويلة كما تحتاج إلى عواكس ذات حجم كبير حتى يمكنها تركيز الطاقة في حزمة صوتية مركزة.

أما في حالة الأعماق الصغيرة فإنه يستخدم ترددات عالية يمكن توليدها بواسطة مذبذبات ذات أحجام صغيرة ومناسبة، وباستخدام الترددات العالية فإن الطول الموجي يكون صغيراً وتكون طاقة الموجة معرضة للفقد السريع في المياه أي أن معدل التضاؤل Attenuation يكون كبيراً وملحوظاً. ويستخدم هذا النوع من الترددات في حالة الأعماق الصغيرة.

ويوضح الشكل (٨-٢) الفرق بين عرض الحزمة لمذبذب ذو ترددات منخفضة مقدارها ٥٠ ك/سيكل وعرض الحزمة لمذبذب آخر تردداته تبلغ ٢٠٠ ك/سيكل ومنه نستنتج أن الترددات العالية تعطي عرض حزمة ضيق يتفق واستخدامات القياس في الأعماق الصغيرة.

ومعظم أجهزة قياس الأعماق الحديثة تنتج ترددات عالية على شكل نبضات حتى يمكن خفض حجم وطول المذبذبات المستخدمة وكذا حجم وشكل العواكس الضرورية لتركيز الحزمة الصوتية في اتجاه قاع البحر.



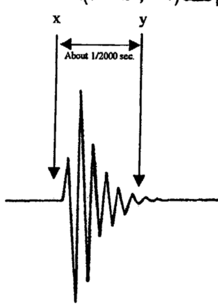
شكل (٨-٢):

اختلاف عرض الحزمة باختلاف التردد من ٥٠ إلى ٢٠٠ ك/ذبذبة/ثانية

٨-٣ شكل وفترة النبضة Pulse Duration and Shape

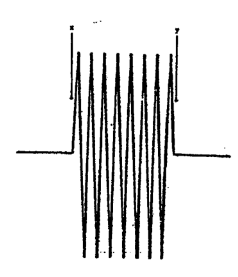
تقوم أجهزة جس الأعماق بالصدى بتوليد نبضات صوتية قصيرة إما أن تكون على شكل ذبذبة مماتة (متضائلة) أو ذبذبة غير مماتة (غير متضائلة) (Damped or Undamped). ويوضح الشكل (٨-٣) الذبذبة المماتة التي يولدها مولد الذبذبات (Oscillator) بجهاز الأعماق عند النقطة (X) عن طريق تعرض المذبذبات الهزازة (Transducer) لمجال مغناطيسي قوى متغير أو تيار كهربائي متغير لفترة زمنية قصيرة تتناسب مع العمق، ثم يترك المذبذب يتذبذب تلقائيا وفقا لذبذبته الطبيعية Natural Oscillation وينتج من خلال هذه الذبذبة طاقة الموجات الصوتية في الماء والتي تستخدم في قياس العمق؛ وتنتهي هذه الذبذبة تماما أو تموت عندما تصل إلى نقطة (Y) وتصل الفترة العملية لهذه النبضة إلى حوالي (٠٫٠٠٠٢) ثانية أو (٢٠٠) ميكروثانية.

وهذا النوع من الذبذبات من السهل توليده ولكنه غالبا لا يشتمل على طاقة عالية بل أن طاقته تكون محددة وتكفي فقط للحصول على صدى من القاع في حدود أعماق لا تزيد عن ١٨٠٠ متر. فإذا كان معدل إرسال النبضات هو ٦٠ نبضة في الدقيقة فإن الفترة الزمنية بين كل نبضتين متتاليتين هو ١ ثانية، وهذا يسمح بقياس أعماق حتى ٧٥٠ متر بينما يكون طول النبضة ٣٠ سم فقط (٠,٠٠٠٢ x ١٥٠٠).



شكل (٨-٣): الذبذبة المماتة

أما الذبذبة غير المماتة الموضحة بالشكل (٨-٤) فيتم توليدها أيضا بواسطة تعريض المذبذبات Transducers لمجال مغناطيسي قوى في فترة يمكن تحديدها حسب طول النبضة المطلوبة وتوجه الذبذبات في اتجاه البحر ويكون لها حينئذ طاقة أكبر من طاقة الذبذبة المماتة خلال فترة النبضة من النقطة (X) إلى النقطة (Y) وتتراوح فترة الذبذبة في هذه الحالة من ٠,٠٠١ إلى ٠,٠٤ ثانية، ويمكن الحصول على أصداء هذه الذبذبات من قاع البحر على أعماق تصل إلى حوالي ٩٠٠٠ متر عندما تكون النبضات المستخدمة طويلة إلى حد ما وتحتوى على طاقة عالية وتحت الظروف الجيدة لانعكاس النبضة من القاع.



شكل (٨-٤): الذبذبة غير المماثة

ويبلغ طول هذه النبضة حوالى ٠,٠٤ ثانية وهو ما يعادل (١٥٠٠ x٠,٠٤) ٦٠ متر وهذا ما يقلل من كفاءة الجهاز فى تمييز أو تحديد الأهداف وهو ما يطلق عليه Poor Definition غير أنه من القوة بحيث يصل إلى أعماق كبيرة بالبحار وتخرج الإشارة الصوتية على شكل حزمة أو شعاع Echo Beam.

فعند صدور الموجات الصوتية من المذبذبات فى الماء فإنها تنتشر فى جميع الاتجاهات، وبالطبع فإنه ليس من المناسب أن نجعل طاقة النبضة تتشتت فى جميع الاتجاهات مما يبدد الطاقة التى تحتويها، لذا وجب علينا توجيه هذه الطاقة فى حزمة يطلق عليها Beam أو شعاع مركز فى اتجاه قاع البحر للحصول على العمق حتى أعماق كبيرة جدا وذلك بتزويد أجهزة تحديد العمق بالصدى بعواكس للطاقة لبثها فى اتجاه واحد فقط وتكون على شكل حزمة من الطاقة فى اتجاه قاع البحر.

ويعتمد عرض الحزمة The Beam Width على قطر السطح المذبذب وعلى التردد المستخدم، فإذا زاد تركيز الحزمة وأصبح الشعاع ضيقا وموجها توجيها دقيقا فى اتجاه القاع تزداد الطاقة وقدرة الجهاز على تمييز

الأهـداف، ويتناسـب عـرض الحزمـة طرديـا مـع الـتردد وعكسـيا مـع طـول العـاكس وفقا للعلاقـة التاليـة:

$$Bw^{\circ} = \frac{\lambda}{L} K$$

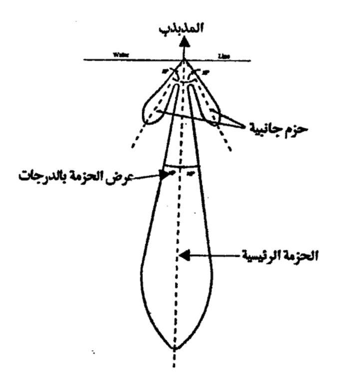
حيـث:

Bw = عرض الحزمة بالدرجات

λ = طول الموجة

L = قطر السطح المذبذب

K = مقدار ثابت مقداره ٦٥ للمذبذب الدائرى و٥٠ للمذبذب المربع.



شكل (٨–٥): الحزمة الصوتية في الماء

ويوضح شكل (٨-٥) قطاع فى حزمـة صوتيـة تم إصدارهـا مـن مذبـذب إصـدار الموجـات الصوتية وعـرض هـذه الحزمـة ٢٠° تقريبـا، وتـتركز معظـم طاقـة النبضـة فـي الخـط المنصـف للشعاع الـذى يمكـن تصـوره علـى شـكل مخروطـى زاويـة

رأسه مقدارها ٢٠°. ويوضح الشكل أيضا الحزمة الأساسية والحزم الجانبية لها وبالطبع فإن خارج الحزمة الموضحة فى الشكل فإن الطاقة التى تحتويها النبضة تقل بسرعة كبيرة بحيث لا يكون لها تأثير ملموس. ويلاحظ وجود حزمة جانبية بجوار الحزمة الرئيسية وفى هذه الحزمة الجانبية Side Lobes يعود مرة أخرى تركيز الطاقة على زاوية مقدارها ٣٠° تقريبا. ولا يمكن الاستفادة من هذه الحزمة الجانبية بل إنها فى بعض الأحيان تسبب أصداء كاذبة وتظهر بعض الأخطاء فى تحليل بيانات مسجل الأعماق. ومما هو جدير بالذكر أن جميع العواكس التى تستخدم فى تركيز شعاع الطاقة الصوتية فى الماء ينجم عنها حزم جانبية قد تقل فى طاقتها وفى زاوية انفراجها ولكنها بلا شك تظل أحد مصادر الأصداء والأهداف الزائفة على شريط تسجيل الأعماق والتى يجب معالجتها بحرص شديد.

ومن الواضح أن استخدام الذبذبة المماثة الموضحة فى الشكل (٨-٣) أكثر سهولة فى الحصول عليها من الذبذبة الغير مماثة الموضحة فى الشكل (٨-٤)، ولذلك فإن معظم أجهزة جس الأعماق تقوم بتوليد الذبذبات المماثة. ومن ثم يجب التذكر أن النبضة الطويلة والتى تحتوى على عدد أكبر من الموجات الصوتية تحتوى على طاقة أكبر من النبضة القصيرة، ولذلك فإذا كان الغرض هو قياس الأعماق الكبيرة فإن اختيار النبضة الطويلة يكون أكثر ملائمة من النبضة القصيرة أو عندما تكون السفينة معرضة للدرفلة الطولية والعرضية بشدة، ولكن يجب ملاحظة أن النبضة الطويلة يعيبها عدم وضوح الأصداء وهو ما يسمى Poor Definition.

وأجهزة جس الأعماق التى تستخدم الترددات العالية High Frequency والنبضة القصيرة والحزمة الضيقة تكون مناسبة جدا لأعمال المسح وقياس الأعماق فى المناطق الضحلة وفى أعمال الحفر وتوسيع الممرات الملاحية حيث تعطى نتائج إيجابية وتمييز عالي للأهداف Good Definition ولكن يجب ملاحظة أن النبضات القصيرة لا تناسب أعمال المسح للأعماق الكبيرة.

وأجهزة جس الأعماق الكبيرة تعتمد دائما على النبضات الغير ممانة والتى تحتوى على طاقة كبيرة ويكون طول النبضة فى حدود ٠,٠٤ ثانية أما الترددات فغالبا ما تكون فى حدود ١٠ ك.هرتز أو أقل. أما عرض حزمة الشعاع فغالبا ما تكون كبيرة وقد تكون في حدود ٤٠٪ حتى تتناسب مع حركة السفينة ودرفلتها طوليا وعرضيا. أما الأجهزة المتعددة الأغراض فإن تردداتها تكون في حدود ١٥ ك.هرتز وتكون الذبذبة ممانة وفترتها في حدود ٠,٠٠٢ ثانية وعرض الحزمة ٢٠٪ وهذه الخصائص تعطى نتائج جيدة جدا في رصد الأعماق وتمييزها جيدا.

يتوقف عرض الحزمة على شكل المذبذب، فإذا كان المذبذب دائرى فإنه ينتج حزمة صوتية على شكل مخروط، أما إذا كان المذبذب مستطيلا فإنه ينتج حزمة قطاعها على شكل بيضاوى يختلف فيه عرض الحزمة فى اتجاه الطول عن عرض الحزمة في اتجاه العرض وتكون الحزمة ضيقة فى مستوى قطر السطح المستطيل، ويمثل عرض الحزمة الصوتية درجة التركيز الصوتى الذى ينتجه المذبذب، فإذا كان المذبذب دائريا فإن عرض الحزمة يكون كالآتي:

$$Bw_o = \frac{65\lambda}{d}$$

حيث:

λ = طول الموجة

d = قطر السطح المذبذب.

أما في حالة السطح المستطيل فإن عرض الحزمة يكون كالآتي:

$$Bw_o = \frac{50\lambda}{L}$$

حيث (L) هو طول قطر المستطيل.

٨-٤ قياس الزمن وقياس الطور

جميع أجهزة جس الأعماق تقوم بحساب الفترة الزمنية بين إرسال واستقبال النبضة المرتدة من القاع وتقوم بحساب العمق بالعلاقة الرياضية المذكورة من قبل بفرض أن السرعة المتوسطة للصوت فى الماء معروفة ومقدارها

١٥٠٠ متر/ثانية. ويتم تحويل الزمن المقاس أتوماتيكيا إلى مقياس العمق. وبالطبع فإن نتائج قياس الأعماق قد تحتاج إلى بعض التحشية أو بعض التصحيحات الواجب إضافتها والتي تعتمد على ظروف الرصد والجس. وتوجد بعض الطرق لبيان العمق اللحظي أسفل قارب المسح أو السفينة ويمكن استخدام أميتر أو جلفانومتر ذو معايرة خاصة أو استخدام لمبة مضيئة على قرص دوار. ولكن في أعمال المسح البحري وجس الأعماق فإن احتياجات المساح أو الملاح تتطلب وجود جهاز للتسجيل حتي يمكن مراجعتها بعد إجراء أعمال الرصد البحري والتي يتم رصدها مع الزمن الذى رصدت فيه هذه الأعماق.

ويوضح الشكل (٨-٦) جزء من أحد مسجلات الأعماق، حيث تدور ريشة التوقيع المثبتة في نهاية ذراع دوار حول عجلة دوران موصلة بموتور يدور بسرعة منتظمة.

وتتلخص مبادئ هذا النظام من تسجيل الأعماق في أنه عندما تبدأ النبضة الصوتية فإن تيار كهربائي يمر من خلال ريشة القياس Stylus إلي السطح المعدني خلف سطح التسجيل الورقي، وعندما يصل إلى الجهاز صدى النبضة المرتدة من القاع فإنه سيولد تيارا كهربائيا مرتدا إلي ريشة التسجيل مرة أخرى.

وفي كلتا الحالتين أي عند بدء النبضة وعند استقبال الصدى من القاع فإنه تتولد شرارة كهربائية بين سن الريشة وبين السطح المعدني خلف لفة الورق المعالج كيميائيا فتحدث علامة علي سطح الورق، وتكون المسافة بين كلا العلامتين أي علامة إرسال النبضة وعلامة استقبال الصدى متناسبة مع مقدار العمق أسفل الجهاز. فإذا كانت الريشة مثبتة في الذراع الذى يتصل بموتور ذو حركة منتظمة، ويدور هذا الموتور بسرعة منتظمة مقدارها لفة واحدة كاملة كل ١,٢ ثانية. وإذا كانت سرعة الصوت في الماء مقدارها ١٥٠٠ متر/ثانية فإنه أثناء الدورة الكاملة التي تصنعها ريشة التسجيل ستكون النبضة الصوتية قد انتشرت في الماء لمسافة تعادل ٩٠٠ متر.

$$D.max = \frac{1}{2} t \times v$$

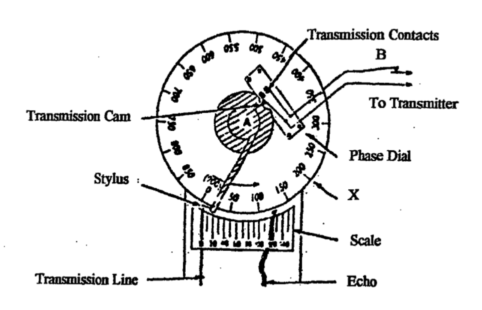
حيث:

D.max هي أقصى عمق يمكن قياسه.

$$D.max = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 1500 = 900\,m.$$

وتعتبر العلاقة بين سرعة دوران ريشة التسجيل وسرعة الصوت في الماء وتدريج القياس لدورة كاملة من أهم العلاقات التي تحكم قياس عمق الماء بصفة مستقرة.

وتدور ريشة التسجيل Stylus عكس عقارب الساعة وعندما تصل إلي نقطة الصفر علي قرص التدريج فإنها تفتح كامة توصيل التيار الكهربائي لتوليد النبضة الصوتية المرسلة وتحدث العلامة المرئية علي سطح الورق أمام تدريج الصفر.



شكل (٨-٦): وحدة بيان الأعماق في أحد أجهزة القياس

وأثناء رحلة النبضة الصوتية في الماء من المذبذب المرسل إلى قاع البحر وليكن القاع في هذه الحالة علي بعد ١٢٠ متر فقط- فإن ريشة التسجيل تكون قد دارت في اتجاه عكس عقارب الساعة مسافة تعادل هذا العمق فقط كما هو موضح في الشكل (٨-٦) بشرط ثبات سرعة الانتشار وبقائها كما هي

١٥٠٠ متر/ثانية، وستكون ريشة القياس في مواجهة للتدريج ١٢٠ متر عندما تعود النبضة وتحدث علامة أخرى في ورق التسجيل وهذا يوضح عمق المياه في المنطقة. وبالطبع إذا كانت سرعة الصوت الحقيقية أكبر من ١٥٠٠ فإن العمق المسجل سيكون اقل من العمق الحقيقي.

ويمكن للمساحين أو المستخدمين لأجهزة قياس الأعماق تعديل وضع سن ريشة التسجيل عند البداية ليأخذ في الاعتبار مقدار الفرق بين العمق الحقيقي والعمق المسجل لأي سبب من أسباب اختلاف كل منهما عن الآخر بحيث تظل القراءة التي نحصل عليها من التدريج مساوية للعمق الحقيقي أسفل السفينة.

لذلك فإن تدريج القرص الخارجي يكون مساويا لقراءة مقدارها ٩٠٠ متر، وبالتالي يمكن تقسيم القرص الخارجي لعدد متساوى من الأجزاء، فعلى سبيل المثال ٩٠٠ جزء أو كل جزء يمثل ١ متر من الأعماق. ولكن إذا حدث أن سرعة الصوت في الماء ليست ١٥٠٠ متر/ثانية واختلفت قليلا نتيجة لتغير العمق أو الملوحة أو درجة الحرارة فإن الدورة الكاملة للموتور وبالتالي لريشة التسجيل لن تكون متساوية مع مقدار التقسيم الذى تم تدريج القرص عليه. فإذا زادت سرعة الانتشار إلى ١٥٥٠ متر/ثانية فإن أقصي عمق سيكون ٩٣٠ متر، ولكن نظرا لأن تدرج القرص مدرج إلى ٩٠٠ جزء فقط فإنه يصعب مقارنة ما تم تدريج القرص عليه. ولا يمكن تعديل تدريج القرص نتيجة التغير الذى حدث في قياس العمق نتيجة لتغير سرعة الصوت في الماء. ولكن يمكننا تغيير سرعة الموتور وجعله يدور دورة كاملة في زمن أقل من ١,٢ ثانية وبذلك فإنه يمكن المحافظة على تدريج القياس لمقدار ٩٠٠ متر فقط فيتغير زمن الدوران.

$$t = \frac{2D\,max}{v} = \frac{2 \times 900}{1550} = 1.16\ sec$$

أي أن تعديل سرعة دوران الموتور يمكن أن يعادل التغير الحادث في سرعة انتشار الصوت في الماء.

وفي المثال السابق فإن قرص التدريج قد تم تدريجه إلى ٩٠٠ جزء لقياس أعماق حتى ٩٠٠ متر، ومعنى ذلك أن كل دورة كاملة بريشة التسجيل تصنع عمقا مساويا ٩٠٠ متر أي أن:

$$150\,m. = 360 \times \frac{150}{900} = 60^\circ$$

أو

$$100\,m. = 360 \times \frac{100}{900} = 40^\circ$$

وحيث أن مساحة الورق المعرض للتسجيل مقيدة بعرض الشريط أو اللفة المستخدمة وأيضا بمقدار التدريج السفلي من القرص المقابل لعرض شريط الورق، يتضح أنه إذا كان العمق المقاس مقداره ٢٠٠ متر عند النقطة (X) فمعنى ذلك أنه لن يتم تسجيل هذا العمق لأنه خارج حيز لفة الورق المستخدمة في التسجيل.

وعلى ذلك يجب عمل أطوار مختلفة للقياس بحيث يتناسب طول كل طور مع مقدار ما يمكن تسجيله على لفة الورق، فإذا كان شريط ورق التسجيل كما هو واضح من الشكل يمكن أن يبين أو يظهر أعماقا حتى ١٥٠ متر فإنه يتم تقسيم قرص التدريج الكامل إلى عدة أطوار كل منها يساوى ٦٠° أي تقسيم القرص إلى ٦ أطوار من صفر ومن ١٥٠ إلى ٣٠٠ ثم ٤٥٠ ثم ٦٠٠ ثم ٧٥٠ وأخيرا من ٧٥٠ إلى ٩٠٠ متر، فإذا كان العمق المتوقع قياسه يقع في حدود ٣٥٠ متر فإننا نغير طور القرص بحيث يظهر في الجانب السفلي منه الطور الجزئي الذى يوضح الأعماق من ٣٠٠–٤٥٠ متر.

وهكذا عندما يظهر صدى العمق على رقم ٣٥٠ متر فإنه يتسبب في إحداث علامة كهربائية يمكن تسجيلها على لفة الورق التى تدور على بكرات زمنية تدور بسرعة منتظمة. أما إذا كان العمق غير معروف تقريبا فإننا نبدأ بالبحث عن العمق بواسطة تغير الطور فنبدأ من الطور الأول ثم الثاني وهكذا حتى تظهر علامة العمق فنترك وضع الطور كما هو عليه ونتابع حركة علامة الأعماق التي قد تكون متزايدة أو متناقصة أو ثابتة، فإذا كانت متزايدة

وتوشك علـى الخروج مـن مقيـاس العمـق الـذى يقـابل شـريط التسـجيل فإننـا نغير الطور إلى المرحلة التالية له أو العكس إذا كـان العمـق متناقصـا.

وفي جميع الأحـوال عنـد تغيير حركة القرص لتغيير الطـور فإنـه يجـب تسـجيل الوقت الـذى تم فيه هـذا التغيير وتحديـد علامـة خارجيـة توضـح عـدم اسـتمرار علامات العمق على مقياس الرسـم السـابق.

ومعظـم أجـهزة قيـاس الأعمـاق التـي تعتمـد علـي كامـة دوران ولفـات وشـرائط ورق التسـجيل يتواجـد بـها نظـام تغير الطـور والـذى يـتراوح مقـداره الـزاوى بـين ٤٠° و١٢٠° أي بـين ٩ أطـوار إلى ٣ أطـوار فقـط حسـب عـرض الشـريط المسـتخدم فـي التسـجيل.

وفـي جميـع الأحـوال يجـب عمـل معـايرة لقـراءات الأجـهزة المسـتخدمة والتـأكد من دقتها قبل استخدامها في تحديـد الأعمـاق.

٨-٥ وحدة الإرسال The Transmission Unit

تتكـون وحـدة الإرسال فـي أجهزة الأعماق من ثلاثـة أجـزاء:

١- مولـد الإشـارات

٢- مفتـاح التشـغيل

٣- وحـدة الذبذبـة.

ويعمـل مفتـاح التشـغيل علـى توصيـل التيـار الكـهربي إلي مولـد الذبذبـات وهـو عـادة مـا يكـون مـن النـوع الكـهروميكانيكي، ويتحكـم فـى هـذا المفتـاح فـي وحـدة الإرسـال الموصلـة بـين ريشـة القيـاس وبـين صفـر التدريـج علـى قـرص التدريـج. وإذا كـان الجـهاز يسـتخدم النبضـة الغـير مماثـة فإنـه حينئـذ يلـزم توصيـل هـذه الوحـدة مـع وحـدة تحكـم النبضـات ووحـدة تكبـير Power Amplifier، أما إذا كـانت الطاقـة المرسـلة صغـيرة كمـا هـو الحـال فـى الأجهزة المصممـة لقياس أعمـاق بسيطة فإننـا قـد نسـتغني بالكـامل عـن مفتـاح التشـغيل اعتمـادا فقـط علـى التوصيـل بـين الريشـة والقـرص ويقـوم المذبـذب Transducer باسـتقبـال النـبضة مـن مولـد الطاقـة الكـهربي Electrically Energy الـذى يحـول هـذه الطاقـة الكهربيـة إلى طاقـة صوتيـة.

ويتم بالطبع تركيز الطاقة الصوتية في شعاع في اتجاه القاع عن طريق عواكس لهذه الطاقة.

وقد يكون المذبذب الذى يقوم بتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة صوتية مذبذبا مغناطيسيا أي ذو خاصية التخصر المغناطيسي أو مذبذبا ذو خاصية التخصر الكهربائي والذى يتوقف اختيار نوع المذبذب على تصميم الجهاز.

ويمكن استخدام مصفوفة من هذه المذبذبات في بعض الأحيان من المذبذبات الحديثة لتركيز الطاقة في شعاع مركز في اتجاه القاع بدلا من استخدام العواكس الصوتية التي تفقد جزءا من الطاقة في عملية ارتطامها على السطح الداخلي للعواكس.

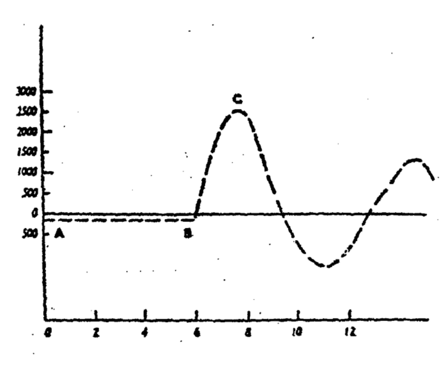
وجميع وحدات الإرسال في أي جهاز لقياس الأعماق تحتوى على مفتاح التشغيل Switching Unit ومولد الإشارة أو الذبذبة Signal Generator ومحول الذبذبة أو الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية. ويمكن بالطبع تطبيق هذه المبادئ الأساسية لمكونات جهاز قياس الأعماق على أي من الأجهزة المستخدمة مع تنوع مصادر إنتاجها.

وتتكون وحدة التوليد الفجائية من دوائر بسيطة للتشغيل بواسطة تيار منخفض ١٢-٢٤ فولت ولكنها تولد ذبذبات متضائلة فقط ولذلك فإن هذا النوع من المولدات لا يمكنها توليد نبضات ذو طاقة عالية (شكل ٨-٧).

ويتضح من الشكل دائرة مكثف بسيطة والتي يصلها التيار الكهربي خلال الموصلات (T) في وحدة الإرسال ويوضح الشكل البياني نتيجة التيار بين طرفي المكثف (X، Y)، فعندما تقفل الدائرة عند طرفي الملف (T) يتم شحن الدائرة بين النقطة (A) إلى النقطة (B) وعند النقطة (B) يكون المكثف قد تم شحنه تماما بفرق الجهد عند طرفي الموصل والتي تصل إلى ١٠٠ فولت وعند اللحظة (B) تفتح الدائرة عند نقطة التوصيل (T)، وفي هذه اللحظة تقوم دائرة المكثف بتفريغ الطاقة الكهربائية التي خزنتها أثناء فترة الشحن وتصدر هذه الطاقة في لحظة بسيطة وينخفض فرق الجهد بين (X، Y) إلى الصفر وفي حوالي ١/٦ من الثانية يبلغ فرق الجهد أقصى مقدار له عند النقطة (c) ويبلغ حوالي ٢٥٠٠ فولت، ثم يترك بدون تدخل

فيتذبذب فرق الجهد فى المكثف تلقائيا ذبذبة طبيعية كما هو موضح فى الرسم البياني وحتى تمتص الطاقة فى مجموعة المقاومات الموجودة بالدائرة، وهذه الذبذبة الطبيعية غير متضائلة أي أنها تستمر لفترة طويلة قبل أن تمتص طاقتها بالكامل خلال مجموعة المقاومات الموجودة بالدائرة. أما إذا أريد تصميم الدائرة لتوليد طاقة وذبذبة متضائلة فإنه عند اللحظة (c) والتى يبلغ فرق الجهد فى دائرة التكثيف أقصى ما يمكن أي حوالى ٢٥٠٠ فولت، فإذا تم قفل الدائرة عن طريق المذبذب وفى التوقيت المناسب فإن جميع الطاقة الموجودة فى مجموعة الصدمات سوف تنتقل إلى المذبذب وتتسبب فى توليد نبضة صوتية متضائلة.

وفى بعض الاستخدامات الخاصة فإنه يمكن أيضا تعديل التردد، وفى هذه الحالة فإن مقدار السعة Amplitude سيكون ثابتا بينما يقوم الجهاز بتعديل الذبذبة بالنسبة للزمن وفى هذه الحالة يجب أن يشتمل الجهاز على مذبذب Transducer مختلف ذو ذبذبة مختلفة وبذلك فإن تركيبات ومكونات الجهاز تزداد تلقائيا بزيادة عدد المذبذبات؛ وعادة لا تقوم الشركات المصنعة بإنتاج مثل هذه الأجهزة إلا إذا كان لها طلب خاص واستخدامات معينة، أما فى حالة استخدامات مسح وجس الأعماق أو الملاحة البحرية فإن المولدات ذات تعديل السعة هي الأكثر استخداما وشيوعا.



شكل (٨-٧): وحدة توليد الطاقة

٨-٦ المذبذبات Transducers

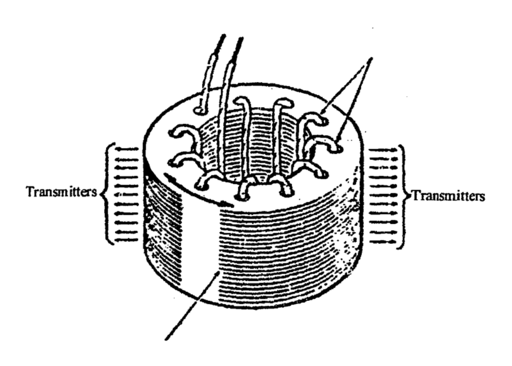
المذبذب هو الوحدة المسئولة عن تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة صوتية، وتستخدم بعض الأجهزة مذبذب واحد لكل من الإرسال والاستقبال حيث أن كل منه له نفس الخصائص (مذبذب الإرسال ومذبذب الاستقبال). ومما هو جدير بالذكر أن وحدة الإرسال لا يجب توصيلها بمذبذب الاستقبال أو العكس، وفي حالة استخدام نفس المذبذب للإرسال والاستقبال فإنه يتطلب مفتاح خاص لفصل حركة ووقت الإرسال عن حركة ووقت الاستقبال. وتشغل جميع المذبذبات على إحدى خاصيتين طبيعيتين إما بواسطة التخصر المغناطيسي Magneto Striction أو التذبذب الكهربي Piozo Electric.

أولاً: المذبذبات ذو خاصية التخصر المغناطيسي

Magneto Striction Transducers

أ- المذبذب الحلقي

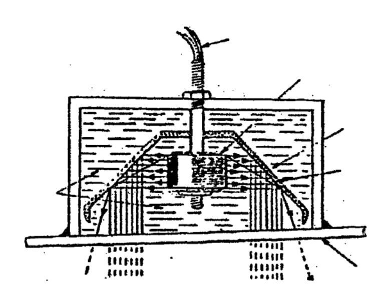
يوضح الشكل (٨-٨) أحد المذبذبات التي تعتمد على خاصية التخصر المغناطيسي الطبيعي والتي بموجبها تتذبذب بعض المواد النيكل أي يحدث لها اهتزاز عندما تتعرض لمجال مغناطيسي، ويتغير اتجاه الذبذبة إذا تغيرت أقطاب المجال المغناطيسي المؤثر على رقائق المعدن المتذبذب، ويوضح الشكل أحد المذبذبات المغناطيسية التي تتكون من رقائق من حلقات النيكل ويحتاج هذا النوع إلى تيار كبير مع فرق جهد متوسط حتى يمكن إصدار طاقة كبيرة للذبذبة الصوتية التي ينتجها في صورة اهتزازات ميكانيكية، ولكن يعيب هذا النوع عدم استخدامه في توليد الذبذبات العالية ذات الموجات القصيرة، وترص حلقات النيكل على شكل حزم مترابطة ويمر بشكل عامودي عليها ملف مرن معزول ويغزل من خلال فتحات حلقات المذبذب. فإذا مر تيار متردد داخل السلك الكهربائي الذي يحيط برقائق النيكل، فإن هذه الرقائق سوف يزداد طولها أو يزداد قطرها في اتجاه الخارج؛ وعند عكس اتجاه التيار فإن الرقائق تنكمش مرة أخرى وهكذا... لأن مرور التيار الكهربائي في السلك الملفوف حول النيكل سوف يتسبب في إيجاد مجال مغناطيسي متغير والذي يؤثر بدوره على رقائق النيكل ويجعلها تهتز بشدة تتناسب مع شدة التيار المار في الملف، وبذلك فإن هذه الاهتزازات هي التي تعمل على إصدار الموجات الصوتية المرغوب في توليدها في اتجاه القاع؛ ويبين اتجاه الأسهم بالشكل اتجاه حركة زيادة وانكماش حلقات المذبذب التي تستمر في حركة ذبذبية ميكانيكية عالية، وكلما كثرت حلقات النيكل كلما زادت شدة الذبذبة المتولدة.



شكل (٨-٨): المذبذب الصوتي ذو الحلقات النيكل

وحتى يمكن توجيه طاقة الذبذبة في اتجاه قاع البحر وفي حزمة Beam أو شعاع ضيق يحتوي معظم الطاقة، فإن المذبذب يوضع تحت عاكس معدني وسطحه الداخلي على شكل منحني قطع مكافئ Parabola والتي من شأنها عكس وتجميع طاقة الذبذبات الصادرة في الاتجاه الأفقي وتحويلها إلى ذبذبات في اتجاه رأسي أسفل قاع السفينة. ويوضح الشكل (٨-٩) أحد المذبذبات المغناطيسية ذو الحلقات وهو مثبت بقاع إحدى السفن ومثبت داخل ناقوس مخروطي أو عاكس بارابولا وكل من العاكس والمذبذب مثبتان داخل صندوق خاص أسفل القاع؛ ويملأ هذا الصندوق أو الخزان بواسطة الماء العذب والذي يقلل من احتمال الصدأ أو تلف المذبذب، وعندما يهتز المذبذب فإن الموجات الصوتية الصادرة عن هذا الاهتزاز أفقيا خارج مركز المذبذب، وعندما تصطدم بالسطح الداخلي للعاكس، فإن اتجاهها يتغير إلى

أسفل وتخترق غطاء الصندوق إلى قاع البحر. أما الموجات المرتدة فإنها تتحرك من قاع البحر إلى أعلى في اتجاه السفينة وعندما تصطدم بالسطح الداخلي للعاكس فإنه يعكس الذبذبات المرتدة إلى اتجاه مركز الحلقات بطاقة مركزة وبذلك تتذبذب حلقات النيكل ميكانيكيا.

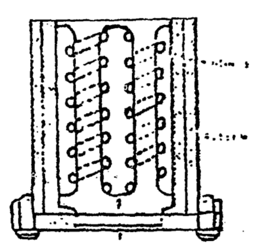


شكل (٨-٩): وضع وتثبيت المذبذب الصوتي المغناطيسي

ب- المذبذب الطولي

يتكون هذا النوع من المذبذبات من رقائق طويلة من النيكل معزولة عن بعضها كما هو مبين في الشكل (٨-٩). ويتم تثبيت أحد أطرافها بقاع السفينة مع ترك الطرف المقابل للقاع حر الحركة حتى يمكن أن تتركز الذبذبة في اتجاه واحد فقط؛ وتوضع هذه الذبذبات في وعاء يغطي بالكاوتش ويلف حولها ملف كهربائي لتوليد المجال المغناطيسي.

ويعيب هذا النوع من محولات الطاقة المغناطيسية أنه لا يمكن استخدامه مع الترددات العالية وبذلك يظل محصورا للاستخدام مع الترددات المنخفضة ذات الموجات الطويلة والطاقة العالية.



شكل (٨-١٠): المذبذب الطولي من رقائق النيكل

ثانيا: المذبذبات الكهربائية Piezoelectric Transducers

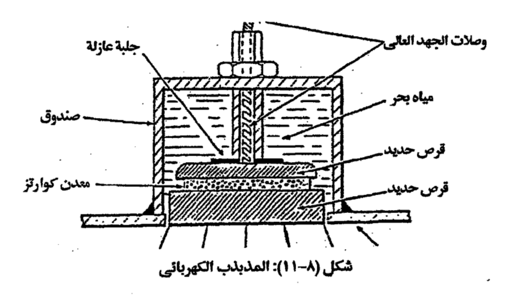
يوضح الشكل (٨-١١) أحد محولات الطاقة الكهربائية التي تعتمد على خاصية التخصر الكهربائي؛ ولتشغيل هذا المذبذب فإنه يجب توفير فرق جهد متغير عالي ولا يعتمد على وجود تيار عالي كما في حالة المذبذب المغناطيسي، وهو يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى اهتزازات ومن ثم طاقة صوتية خصوصا في حالة توليد الذبذبات العالية جدا (VHF)، ولكن حيث أن الذبذبات العالية هي التي تستطيع توليدها فإننا لا نتوقع قوة كبيرة لشدة أو سعة الموجات كما هو الحال في حالة المذبذب المغناطيسي، ولذلك فإن هذا النوع من المذبذبات يفضل توصيله إلى الماء مباشرة دون حواجز كما هو الحال في غرفة تثبيت المذبذب المغناطيسي وذلك حتى لا يفقد الطاقة البسيطة التي تحتويها.

ويتكون المذبذب من قرصين من الحديد (A, B) واللذان يحيطان بمعدن كوارتز مثل الموزايكو الذي يتم قطعه بطريقة خاصة حتى يغطي السطح ذو المركبات الحلقية (Crystals) ويتم ربط الطبقات الثلاثة جيدا، طبقة الحديد العليا وموزايك الوسطي والحديد السفلي

حتى يمكن ذبذبتها كوحدة واحدة، فإذا وصل فرق جهد عالي على القرصين (A, B) فإن مادة الكوارتز سوف يتغير حجمها مع كل تغير في اتجاه فرق الجهد وبذلك فإن توصيل فرق جهد متغير على سطح المذبذب ينشأ عنه اهتزازات قوية ينتجها الحشو الموزايك الداخلي طبيعيا.

وبالطبع فإننا نحصل على أي قيمة للذبذبة إذا توافقت الذبذبة الطبيعية Natural Frequency كوارتز مع ترددات فرق الجهد الموصل بالمذبذب، ويوضح الشكل اتجاه الذبذبات والاهتزازات التي توجه مباشرة في اتجاه قاع البحر. أما الاهتزازات الصوتية المرتدة من القاع فإنها تصطدم بسطح المذبذب وتسبب اهتزاز الكوارتز، وبطريقة عكسية فإن هذه الاهتزازات تعمل على توليد فرق جهد متغير وصغير على كلا سطحي المذبذب (A, B) والتي يمكن استشعارها كهربائيا.

وكل من المذبذب المرسل والمذبذب المستقبل لهما نفس الخصائص والتركيب ويمكن استخدام أحدهما مع الآخر أو استخدام مذبذب واحد فقط لكل من الإرسال والاستقبال.



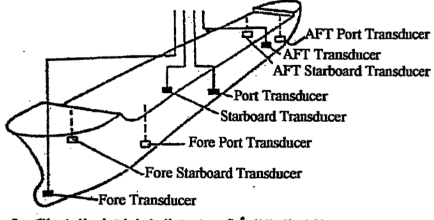
شكل (٨-١١): المذبذب الكهربائي

ويعيب هذا النوع من محولات الطاقة أن الترددات تكون عالية جدا وبذلك تكون أطوال الموجات قصيرة وذات قوة صغيرة وبالتالي يكون صندوق التثبيت مفتوح على البحر مما يعرض محتوياته للصدأ وتراكم الحشف البحرى.

ويعتبر اختيار المكان الذى تثبت به المذبذبات بقاع السفينة من الأمور الهامة فى تسجيل الأعماق ويتوقف أساسا على نوع السفينة وحجم واستخدام جهاز جس الأعماق سواء فى الملاحة العادية أو المساحة البحرية. ويجب أن يكون مكان تثبيت المذبذبات بعيدا بقدر الإمكان عن أماكن التقلبات التى تحدث بجانب أو أسفل السفينة والتي قد تتعرض لوجود الفقاعات الهوائية الناتجة عن حركة السفينة أو ضخ مياه الصابورة أو السرتينة أو أماكن تفريغ مخلفات السفينة الأمر الذى يجعل الموجات الصوتية تتعرض لأوساط متباينة أثناء انتشارها فى الماء، كما يجب أن تكون المسافة العرضية بين كل من المذبذب المرسل والمذبذب المستقبل كافية حتى لا تتداخل إشارات الإرسال مباشرة مع دائرة الاستقبال، وفى حالة وجود مذبذبين أحدهما للإرسال والآخر للاستقبال فإنه يفضل وضعهما فى قاع السفينة عند منتصف طولها تقريبا. وأحيانا توضع المذبذبات فى المقدمة في السفن الطويلة حتى يمكن قياس العمق عندما تدخل أو تقترب مقدمة السفينة من الأعماق الضحلة أثناء الملاحة العادية وهو أيضا ما يناسب السفن الصغيرة الحجم حيث يفضل إبعاد موضع المذبذبات عن مكان الماكينات وأجهزة الدفع.

وفى السفن الكبيرة أو سفن الركاب؛ فيمكننا وضع مذبذب واحد فى كل من المقدمة والمؤخرة ويعمل كل منهما كمرسل ومستقبل، وفى هذه الحالة تتمكن من معرفة الأعماق عند مقدمة السفينة وكذا الأعماق عند مؤخرة السفينة، أو يمكن وضع مذبذبات مزدوجة فى منتصف السفينة وأخرى فى مقدمة السفينة لهذا الغرض. ويوضح

الشكل (٨-١٢) بعض الاختيارات في تحديد أماكن تثبيت المدبدبات.



شكل (٨-١٢): أماكن تثبيت المدبدبات في السفن الكبيرة

٨-٧ وحدة البيان والتسجيل Record Indicator Unit

تتكون وحدة بيان الأعماق من مجموعة الأجزاء التالية:

أولا: موتور التسجيل ووحدة التحكم

يعمل هذا الموتور على نوع من أنواع التيار الثابت أو المتغير، وسواء كان التيار المغذى عالى أو منخفض فإن المطلوب هو سرعة منتظمة لدوران الموتور. ويتم توصيل الموتور ذو التيار المستمر بمنظم لا مركزى Centrifugal Governor حتى نحصل على سرعة منتظمة؛ ويمكن تغيير سرعة الموتور يدويا لأغراض التصحيح والمعايرة بواسطة مفتاح تحكم خاص عند إجراء أعمال الصيانة أو التصحيح لمطابقة سرعة دوران الموتور مع سرعة انتشار الصوت في الماء والتي تتغير وفقا لظروف الحرارة والملوحة والضغط.

وعموما فإن أجهزة التسجيل الجيدة الصنع تحافظ على سرعة دوران الموتور وانتظامها على الوضع المناسب لسرعة الصوت في الماء.

ويجب على المساح مراجعة هذه السرعة والتحقق من انتظامها أثناء الجس علما بأن رداءة فرشاة التوصيل ووجود الوميض الشديد Sparking والتغير الفجائي في فرق الجهد الواصل إلى الموتور يسبب اختلاف وتغير في سرعة الموتور وبالتالي عدم دقة البيانات التي يظهرها المسجل، ونلاحظ أن وحدة البيان سوف تظهر لنا بعض النقاط السوداء أو الأصداء الكاذبة المتناثرة رغم وجود قاع مستوى ورغم انتظام خط الإرسال Transmission Line وتكثر هذه الشوشرة Ripples في الأعماق الكبيرة عنها في الأعماق الصغيرة. وتقوم أجهزة جس الأعماق بوضع بعض التركيبات الإلكترونية Tachometer لقياس سرعة دوران الموتور وانتظامها واكتشاف أي خلافات أو تذبذب في سرعته.

وجميع أجهزة التسجيل تتصل بإبرة الاحتكاك Stylus أو ريشة البيان أو ذراع متحرك عن طريق مجموعة التروس والكامات المثبتة بالموتور وتنقل الحركة إلى الريشة مباشرة وبسرعة منتظمة، وأفضل الطرق لقياس انتظام دوران الموتور هو مقياس دوران الذراع المثبت به الريشة بواسطة ساعة إيقاف دقيقة ومطابقة للزمن بالسرعة المناسبة للموتور.

وتوجد أنوع أخرى من أجهزة التسجيل التي تعتمد على إضاءة لمبة نيون عندما ترتد النبضة المنعكسة من القاع وتعطي بيان لحظي لمقدار العمق على قرص أو اسطوانة مدرجة تمثيليا Analogue ولكنها لا توفر تسجيلا للأعماق في الأزمنة الماضية؛ ويمكن أيضا استخدام أجهزة البيان الرقمية التي قد تعمل مع اللمبة النيون أو شريط التسجيل في آن واحد. وتتميز وسائل العرض الرقمية Digital بإظهار العمق مباشرة ومرور الإشارة على وحدات تخفيض الشوشرة Suppression Units.

ثانيا: مجموعة تروس الحركة

من المهم وجود مجموعة تروس الحركة فى وحدة التسجيل حتى يمكن تغير سرعة دوران ذراع ريشة البيان وفقا للعمق المراد قياسه، وتجهز مجموعة تروس الحركة Gear Box بواسطة مفتاح يمكن الملاح من تغير سرعة دوران ذراع ريشة البيان بدون تغير فى سرعة الموتور، وعادة ما تكون هناك سرعتان البطيئة منها تستخدم عند قياس الأعماق الكبيرة والسريعة منها لقياس الأعماق الصغيرة. وعند وضع سرعة دوران ذراع التسجيل على السرعة البطيئة فإن الفترة الزمنية بين إرسال النبضات تكون كبيرة كما يسمح بنبضة طويلة وكافية للإشارة الصوتية أن تصل إلى الأعماق الكبيرة وترتد مرة أخرى إلى السفينة.

أما حركة ورق التسجيل Recording Paper فإنها تتم فى اتجاه عمودى على حركة ذراع ريشة التسجيل، ويتحرك شريط التسجيل وفقا لسرعات يختارها المساح مناسبة للبيانات التى يريد إظهارها وفقا لسرعة السفينة. وعادة ما يوجد مقياس مدرج حتى يمكن مقارنة المسافة التى يتحركها الشريط الورقى مع الزمن ويتم مقارنة المسافة التى تحركها الشريط مع الزمن لأغراض مطابقة الزمن مع العمق مع الموقع.وبالطبع فإن دوران شريط التسجيل ببطء سوف يخفض من استهلاكه غير أن السرعة العالية للتسجيل سوف تعطى بيانات جيدة فى حالة مقياس رسم الخريطة الكبير، وتستخدم السرعة الكبيرة لمرور شريط التسجيل فى حالة تشخيص الأخطاء والأصداء التى ترد إلى الجهاز بمقياس رسم أكبر.

ثالثا: ذراع ريشة التسجيل **The Stylus Carrier**

يثبت الذراع الدوار الذى يحمل ريشة التسجيل على عمود الكمامات الذى يتصل بالموتور عن طريق مجموعة التروس. وفى حالة استخدام الورق الجاف فإن الريشة تتكون من سلك معدنى قصير على شكل ياي مثبت فى نهاية الذراع الدوار وهي معرضة

للتلف نتيجة للشرارة التى تتولد منها وبين السطح المعدنى الملامس لها خلف شريط التسجيل ويجب تغييرها على فترات إذا قلت كفاءة التلامس بينهما.

رابعا: شريط التسجيل Recording Paper Roll

يستخدم الورق الحساس فى شرائط ولفات فى أعمال المساحة لتسجيل الأعماق على فترات طويلة، وتختلف أجهزة تسجيل الأعماق حسب الشركة المصنعة وحجم وتصميم الجهاز. وعادة ما تكون أجهزة التسجيل قادرة على بيان الأعماق بدءا من سنتيمترات حتى تصل إلى ٢٪ من مساحة الشريط وكانت معظم أجهزة قياس الأعماق فيما مضى تستخدم الورق الرطب (Damp Paper) المعالج كيميائيا بواسطة أيودايد البوتاسيوم والتى تترك علامة بنية اللون عندما تتعرض لتيار كهربائى.

ورغم أن الورق المرطب قد استخدم لفترة طويلة غير أنه يعيبه الآتى:

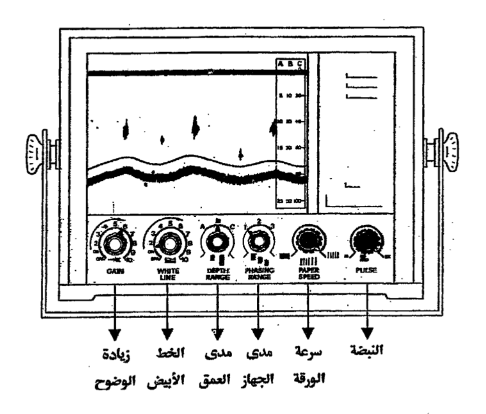
أ- عادة ما تنكمش أشرطة التسجيل من هذا النوع عندما تتعرض للجفاف.

ب- عادة ما تبهت حواف اللفة عندما تتعرض لأشعة الشمس ولا يظهر عليها علامات أصداء القاع.

ج- تختلف كفاءة وجود التسجيل من نوع لآخر من الورق المرطب.

هذا النوع من الورق قد تم تغييره بالكامل وأصبحت معظم أجهزة التسجيل تستخدم الورق الجاف Dry Paper وهو مكون من شرائح من الورق البيض والأسود المضغوط سويا، وقد تكون الشرائح السوداء إما من الخلف أو من منتصف شريحتين من الورق الأبيض، فعندما يمر التيار الكهربائى على سطح الورق البيض فإنه يحترق بسرعة ويظهر الورق الأسود ليحدد مكان العمق على اللفة. ويعيب هذا النوع من الورق أنه غير حساس للإشارات الضعيفة ولذلك يجب

وجـود مكـبرات إضافيـة للنبضـات المرتـدة حتـى يمكنـها توليـد تيـار كـهربائى قـدرا علـى حـرق الشـرائح البيضـاء مـن اللفافـات تاركـا مكانـا لظـهور الشـرائح السـوداء. ومـن جهـة أخـرى فـإن الـورق الجـاف لا ينكمش ولا يبهت لونه كما أنه غير ضار بالصحـة عنـد ملامسته للأيـدى. ويوضـح الشـكل (٨-١٣) نمـوذج لأحـد أجـهزة قيـاس الأعمـاق وأهـم مفاتيح التحكـم بـه.



شكل (٨-١٣): مفاتيح التحكـم الرئيسـية بأجـهزة قيـاس الأعمـاق

٨-٨ أخطاء قياس الأعماق Echo Sounder Measurement Errors

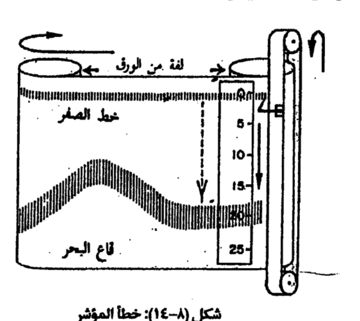
مـن الضـرورى قبـل إجـراء عمليـات جـس الأعمـاق أن نقـوم بمعـايرة الأجـهزة المسـتخدمة بعـد تثبيـت المذبذبـات فـى أمـاكن عملـها وبعـد وضـع بـاقى الوحـدات فـى محـل التشـغيل العـادى وذلـك لمطابقـة القياسـات التـى نحصـل عليها من الجهاز المستخدم مع الأعمـاق الحقيقيـة التـى تقـوم بقياسـها، ويجـب

أن نلاحظ أن هناك عدد من الإضافات التي يمكن وضعها في الحسابات حتي نحصل علي العمق الحقيقي.

كما أن هناك بعض الاختلافات في القراءات التي يكفي التعرف عليها، وقد تؤخذ في النهاية كمحصلة إضافية لتصحيح العمق المسجل وتوضح فيما بعد الأخطاء التي قد تظهر لتلي بعض الأخطاء التي قد تظهر عند التشغيل وإيضاح أسبابها ثم التوصيات التي من شأنها تقليل الخطأ أو إضافة التصحيح النهائي للتسجيل.

أولاً: خطأ المؤشر **Index Error**

عندما لا ينطبق صفر التدريج مع خط الإرسال Transmission Line سواء لخطأ في ضبط وتركيب لفات ورق التسجيل أو لتأخر بيان النبضة المرسلة علي وحدة البيان فإن الفرق بينهما يسبب خطأ ثابت يضاف أو يخفض من قيمة العمق المقاس. ويوضح الشكل (٨-١٤) أين يقع خطأ المؤشر.



شكل (٨-١٤): خطأ المؤشر

ومن الصعوبة بما كان عمليا تحديد نقطة الإرسال والاستقبال، فعندما يطلق المذبذب طاقة النبضة الصوتية فإن جزء من هذه الطاقة ينتقل

إلى جهاز الاستقبال عبر طريقتين: الأولى سريعا خلال حديد ومنشآت البدن والثانية خلال المياه المجاورة لكل من المذبذب المستقبل والمرسل.

وعندما ترتد النبضة من القاع فإن الصدى سوف يولد خط ظهور الأعماق والذى يجب أن يظهر مدى العمق اسفل السفينة. فعندما تصل مقدمة النبضة فإنها تنشط دائرة الاستقبال وتتسبب في إظهار أصداء للعمق قبل وصول الطاقة الفعلية للنبضة المرتدة، وبذلك فإن العمق الذى يظهر يكون أقل من العمق الحقيقي. وفي جميع الحالات يجب معايرة خط البيان الأول بالنسبة لغاطس أو عمق المذبذب في المياه بحيث نأخذ في الحسبان مقدار الغاطس ويكون العمق المدون على المسجل هو عمق المياه من سطح البحر وحتى القاع. ويستخدم لذلك معايرة الجهاز بواسطة قائم معايرة Calibration Check Bar.

ثانيا: الخطأ البيني للمذبذبات Separation Error

يوضح الشكل (٨-١٥) حالة تثبيت للذبذبات على فاصل عريض بينهما مسافة (S)، فإذا كان المذبذب على عمق (d) من قاع البحر فإن العمق الكلي للماء بعد إضافة غاطس السفينة (h) يصبح:

$$\text{Water Depth} = d + h$$

مع ملاحظة الفرق بين غاطس السفينة وغاطس المذبذب الذى قد يختلف عنه بحوالى ٣٠ سم عندما يكون المذبذب داخل وعاء بقاع السفينة.

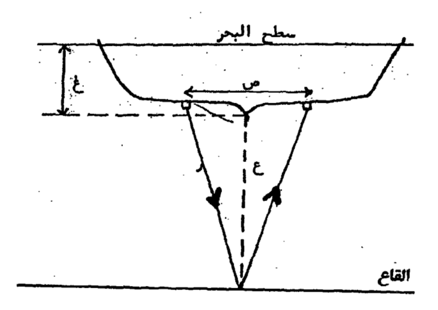
وحيث أن العمق الحقيقى $(D) = d + h$ بينما العمق المسجل (r) وهو العمق المائل نتيجة إرسال واستقبال النبضات، وبذلك فإن العمق المسجل يكون أكبر من العمق الحقيقي ويكون الخطأ الجانبى مقداره:

$$\sigma_s = (r+h) - (d+h)$$
$$\therefore \sigma_s = r - d$$
$$= r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{S}{2}\right)^2}$$

حيث:

r- = العمق الظاهرى أسفل المدبذب والمسجل علي وحدة البيان.

S- = الفاصل الأفقي بين المذبذبات.



شكل (٨-١٥): تحديد مقدار الخطأ الجانبى

ومن الملاحظ أن الخطأ الجانبى يزداد كلما قل العمق ولا يمكن أن يزيد مقداره عن نصف المسافة بين المذبذبات. أما إذا كانت المسافة بين المذبذبات كبيرة زاد هذا الخطأ وفى نفس الوقت إذا قلت المسافة بينهما يزداد مقدار تداخل الطاقة المرسلة مع السفينة. ويجب معالجة خطأ فصل المذبذبات قبل إجراء أعمال المسح البحرى. ففى أعمال المسح لغرض الحفر والتعدين يكون خطأ الفصل علي جانب كبير من الأهمية، وأيضا عند تحديد عمق ممر

ملاحى خاصة عندما تكون قيمة العمق أسفل المدبذب فإنها تكون أقل كثيرا من المسافة بين المدبذبات ولذلك فإننا نتوقع خطأ كبير أيضا، أما فى حالة الملاحة بعيدا عن الساحل فعندما تكون الأعماق كبيرة وتزيد عن ٣ أضعاف المسافة الأفقية بين المدبذبات فإن خطأ الفصل يكون صغيرا.

ثالثا: انخفاض الحركة Settlement and Squat

تسبب حركة السفينة انخفاض مستوى الماء تحت السفينة (Squat) ويتوقف هذا التأثير على العمق أسفل السفينة وشكل البدن وسرعة السفينة في الماء ولكنه لا يغير من مقدار الغاطس بل يتسبب في ظهور الأعماق المسجلة أقل من العمق الحقيقي لمستوى سطح الماء. ولكن هذا التأثير يكون ذا قيمة إذا كان العمق أقل من سبعة أضعاف الغاطس، فإذا كان الغاطس ٢ متر فإن تأثير الانخفاض يظهر عندما يكون العمق ١٤ متر ويزداد هذا التأثير كلما قل مقدار العمق.

كما يتسبب الخفض Squat أيضا فى زيادة ميل السفينة الطولى أي زيادة غاطس المؤخرة بقيمة تتناسب مع طولها وشكل البدن وسرعتها، فإذا كانت المدبذبات من جهاز الأعماق مثبتة قرب نقطة التعادل أو مركز الدرفلة الطولية فإن تأثير الـSquat عليها يكون صغيرا، أما إذا كانت المدبذبات مثبتة بالقرب من مؤخرة السفينة فإن تأثير الـSquat يكون أكبر ما يمكن ويجعل العمق المسجل أقل من العمق الحقيقي للمياه.

٨-٩ معايرة جهاز الأعماق Echo Sounder Calibration

بعد إجراءات التصحيحات الضرورية السالفة الذكر وهي خطأ المؤشر والخطأ النسبى وتأثير الانخفاض، فإن الأعماق التى تسجلها أجهزة القياس تظل متأثرة بثلاث عوامل هامة وهي:

١- خطأ المؤشر Index Error

٢- سرعة الصوت في الماء Speed of Sound in Water

٣- سرعة دوران ريشة التسجيل.

والخطأ الأول هو من التصحيحات التي يجب إضافتها لجميع الأعماق التي نحصل عليها من الجهاز بعد إجراء المعايرة اللازمة وتحديد قيمة هذا التصحيح، أما كل من سرعة الصوت في الماء وسرعة دوران ريشة التسجيل فكلاهما مرتبطان ببعض بالعلاقة التي تحدد قيمة العمق ½ tv، ففي الواقع فإننا نفترض أن سرعة الصوت ثابتة وعلى ذلك نقوم بتغيير قيمة الزمن (t) أو قيمة السرعة التي تدور بها ريشة التسجيل بحيث يكون الناتج هو العمق الحقيقي، وعمليا فإننا نفترض ثبات سرعة الصوت أما قيمة الزمن (t) فإنه يمكن تعديلها بتغير سرعة دوران ريشة التسجيل لتعويض الاختلاف الناتج من السرعة الفعلية للصوت والسرعة الافتراضية له. ويمكن لأجهزة جس الأعماق -التي تستخدم في قياس الأعماق التي تقل عن ١٨٠ متر- أن يتم معايرتها بواسطة Bar Check بدون الحاجة لمعرفة سرعة الصوت في الماء.

أولا: معايرة سرعة الصوت في الماء

بينما ينتشر الضوء في الوسط المناسب له على موجات عرضية Transverse Waves حيث تكتسب الذبذبة في حركة رأسية عمودية على اتجاه الانتشار مثل موجات البحر حيث تتحرك الموجة أفقيا في حين أن جزيئات الماء تتحرك رأسيا، فإن الموجات الصوتية تنتشر على شكل موجات طويلة وتأخذ الذبذبة حركتها في نفس المستوى الذي تنتشر فيه طاقة الموجة أي أن كل من حركة الذبذبة واتجاه الانتشار يكونان في نفس الاتجاه حيث تتضاغط وتتخلخل الموجات. ويمكن تشبيه حركة الموجات الصوتية مثل الحركة الدودية حيث يكون كل من تضاغط وانفراج جسم الدودة في اتجاه حركتها الكلية.

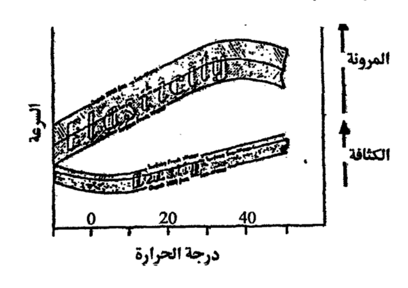
وتعتمد سرعة انتشار الصوت في الوسط على مقدار مرونة الوسط Elasticity، كما تعتمد على كثافة الوسط Density. وترتبط سرعة الصوت بعلاقة طردية مع مرونة الوسط فكلما زادت المرونة كلما زادت السرعة: $V \propto Elasticity$.

في حين تتناسب سرعة الصوت عكسيا مع كثافة الوسط، فكلما زادت الكثافة تقل سرعة الانتشار عن درجة مرونة ودرجة حرارة معينة وتزداد السرعة طرديا مع مرونة الوسط: $V \alpha \frac{1}{Density}$.

وعادة ما يكون تأثير المرونة على سرعة الصوت أكبر من تأثير الكثافة، ومن الواضح أن كل من المرونة والكثافة في الماء مرتبطان مع بعضهما ويعتمد كل منهما بنسب مختلفة على العوامل الثلاثة الآتية: درجة الحرارة، الملوحة، والعمق.

$$\left.\begin{matrix} Elasticity \\ Density \end{matrix}\right] \alpha \left[\begin{matrix} Temperature \\ Salinity \\ Depth\ or\ Pressure \end{matrix}\right.$$

ويوضح الشكل (٨-١٦) العلاقة بين كل من الزيادة في سرعة الصوت والزيادة في المرونة والكثافة وتأثير كل من العاملين السابقين على سرعة الصوت.



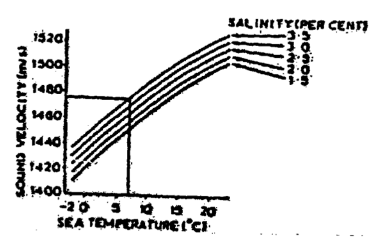
شكل (٨-١٦): العلاقة بين سرعة الصوت وكثافة ومرونة الماء

ونلاحظ من الشكل أنه كلما زادت درجة الحرارة كلما زادت المرونة وبالتالي زادت سرعة الصوت حتى تصل الحرارة إلى ٤٠°م فتبدأ كل من المرونة والسرعة في الانخفاض القليل. كما يوضح الشكل أيضا أن زيادة الملوحة والعمق يعملان على زيادة المرونة. وحيث أن أقصى قيمة لكثافة المياه عند درجة ٤°م فإنه عندما تتغير الكثافة في أي اتجاه من نقطة أعلى قيمة فإنها تتسبب في زيادة سرعة الصوت.

وعند السطح تكون درجة الحرارة مرتفعة نسبيا غير أن العمق أو الضغط يكون منخفض ولذلك يمكننا تصور أن سرعة الصوت تكون مرتفعة نسبيا وعندما يزداد العمق فإن درجة الحرارة تنخفض ويزداد الضغط وتكون المحصلة النهائية بين خفض درجة الحرارة وزيادة الضغط أن تقل السرعة مع زيادة العمق وتصل اقل قيمة للسرعة عندما تستقر درجة الحرارة ولا تتغير بزيادة العمق. وبالطبع فإن محاولة ربط العلاقة بين تغير كل من الملوحة وتغير العمق وتغير درجة الحرارة يعمل على تعقيد التأثير النهائي على سرعة الصوت في الماء، إذ أنه من الواضح أنه عندما تنتشر النبضة الصوتية إلى قاع البحر وتعود مرة أخرى إلى السطح فإنها سوف تكتسب سرعات مختلفة في حين أننا نفترض ثبات سرعة الصوت في معادلة إيجاد العمق الحقيقي.

لذلك فإنه يهمنا معرفة السرعة المتوسطة حتى يمكن حساب العمق الحقيقي للماء. ويمكن قياس سرعة الصوت في الماء مباشرة باستخدام أجهزة قياس السرعة (Velocitymeter) وذلك بإنزالها إلى الماء وتحديد السرعة الفعلية في منطقة المسح؛ وإذا لم تتوافر أجهزة قياس سرعة الصوت في الماء فإنه يتم تقدير هذه السرعة بالعلاقات الرياضية التي تحكم العلاقة بين كل من درجة الحرارة والملوحة والضغط أو العمق، وفي حالة عدم وجود قياسات لسرعة الصوت فإنه يتم استخدام السرعة المتوسطة التي تبلغ ١٥٠٠ متر/ثانية عند درجة ملوحة مقدارها ٣,٤٪ وعند درجة حرارة ١٦°م على سطح البحر وهذه هي السرعة المتوسطة الحسابية التي يصمم عليها الجهاز،

وواضح أنه إذا اختلفت سرعة الصوت في الماء عند تلك السرعة الحسابية فإن العمق الظاهري سوف يختلف عن العمق الحقيقي بنفس النسبة بين السرعة الحسابية والسرعة الفعلية. ولأغراض ملاحة السفن فإن تحديد سرعة الصوت في الماء يمكن استنتاجها من المنحنيات الموضحة في الشكل (٨-١٧) والتي توضح العلاقة بين التغير في سرعة الصوت والتغير في درجة الحرارة عند كل درجة تركيز من الملوحة.



شكل (٨-١٧): العلاقة بين درجة الحرارة والملوحة وسرعة الصوت في الماء

وعموما فإن الاختلاف في السرعة نتيجة للتغير في الملوحة عادة ما يكون صغيرا إلا في حالة انتقال السفينة من مياه مالحة إلى مياه عذبة وفي هذه الحالة سيقل العمق الحقيقي عن العمق الظاهري والذي يتم حسابه وفقا لسرعة الصوت الحسابية والذي يزيد بمقدار ٣٪ تقريبا عن العمق المسجل.

أما في الأعماق الكبيرة فإن السرعة تزداد بمقدار ١,٨ متر/ثانية لكل ١٠٠ متر من عمق الماء غير أن تأثير الحرارة والملوحة يكونان أكبر من تأثير الضغط أو العمق فإذا تم تقدير السرعة الفعلية للصوت في الماء فإن العمق الحقيقي يمكن حسابه كالآتي:

$$\text{العمق الحقيقى} = \text{العمق الظاهرى} \times \frac{\text{السرعة الفعلية}}{\text{السرعة الحسابية}}$$

أما المعادلة العامة لحساب سرعة الصوت فى الماء فهي كالآتى:

$$V_o = 1449.3 + 4.57\,T - 0.45\,T^2 + 0.016\,D + 1.4\,(s - 35)$$

حيث:

V_o = سرعة الصوت في الماء (متر/ثانية)

T = درجة الحرارة المئوية

D = العمق بالمتر

s = الملوحة.

ثانيا: معايرة سرعة دوران ريشة التسجيل Calibration of Timing

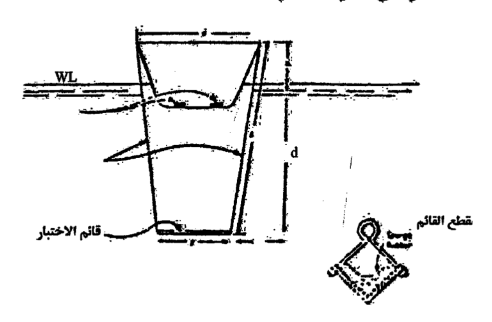
يمكن قياس سرعة دوران ريشة التسجيل بعدة طرق ومنها زمن الدورة الواحدة التى يجب تعديلها وضبطها لتعويض الزيادة أو النقص فى سرعة الصوت عن السرعة الحسابية، وتزود بعض أجهزة قياس الأعماق بأجهزة لقياس السرعة Tachometer، ويمكن للقائم بأعمال المساحة قياس الزمن الكلى لعدد من اللفات ومنها يمكن حساب زمن دورة واحدة وذلك بساعة إيقاف دقيقة وكلما زاد عدد اللفات كلما قلت نسبة الخطأ فى حساب زمن الدورة الواحدة.

ويمكن -إذا ما ثبت أن هناك ضرورة لتعديل سرعة الدوران لتعويض سرعة الصوت- فإنه يمكن تغيير هذه السرعة بواسطة ضبط مفتاح التحكم فى سرعة الموتور بالزيادة أو بالنقص ثم يتم حساب اللفة المطلوب بالتجربة والمحاولة حتى نحصل على سرعة دوران الريشة المطابقة للسرعة الفعلية للصوت واللذان معا يعطيان العمق الحقيقي والفعلى للماء.

٨-١٠ قائم الاختبار The Bar Check

يعتبر استخدام قائم الاختبار لتصحيح الخطأ الناتج من جهاز قياس الأعماق من أفضل الطرق للتصحيح في أعمال المساحة الساحلية وبالموانئ والأماكن الضيقة حيث تعطي نتائج مباشرة وقيماً للتصحيح يمكن إضافتها مباشرة على قراءات جهاز التسجيل للأعماق. وقد تستغرق عملية المقارنة من ١٠ دقائق إلى ساعة كاملة ولكنها في النهاية تعطي نتائج إيجابية مضمونة. ويراعي عند استخدام قائم الاختبار أن تكون الظروف الجوية مساعدة أي يكون البحر هادئاً مع عدم وجود رياح شديدة وأن يكون العمق أكبر من ٣٠ متر.

ويتكون قائم الاختبار من قائم على شكل زاوية قائمة ويتم إنزاله إلى عمق معلوم تحت المذبذب، وكلما كان عرض قائم الاختبار مساوياً لعرض القارب فإن التصحيح الذي يضاف على العمق الظاهري سيكون دقيقاً، أما إذا اختلف طول القائم عن عرض القارب فإن حبل الإنزال لن يكون حينئذ رأسياً. ويوضح الشكل (٨-١٨) وضع قائم الاختبار بالنسبة لقارب المسح، كما يوضح الشكل قطاع في القائم الذي يجب توجيهه إلى قاع القارب حتى نحصل على أفضل أصداء مرتدة منه.



شكل (٨-١٨): قطاع لقائم الاختبار وطريقة تعليقه

أولاً: تجهيزات قائم الاختبار Bar Check Equipment

يتكون القائم من مقطع بزاوية ٩٠° توضع في الاتجاه المقابل لقاع المسح كما يوضح الشكل وضع القائم من أسفل القارب والذى يُدلى بواسطة حبلين من أجناب القارب ويتم قياس الأطوال التى يتم إنزالها من الحبال بدقة.

ويتكون القائم من قطاع معدنى زاوى ويُبطن السطح الداخلي له بمادة يفضل أن تحتوى على نسبة كبيرة من الهواء المحبوس مثل الإسفنج أو الفلين الصناعي أو مادة رغوية صناعية بسمك ١,٥ سم تقريباً، وبذلك يمثل عاكس جيد للموجات الصوتية ويجب أن يكون القائم مساوياً لعرض القارب المستخدم ويجب أن يكون القطاع العرضى للقائم كبيراً حتى لا يتعرض القائم للانحناء أثناء تعليقه أو نقله ولذلك فإن القوائم التى تستخدم للمعايرة من السفن الكبيرة عادة ما يكون طول القائم أقل بكثير من عرض السفينة وبالتالى فإن حبال الإسقاط تكون عادة أطول من المسافة الراسية بين سطح السفينة وبين القائم.

ويجب أن يؤخذ في الاعتبار الفرق بين المسافة الراسية لإنزال القائم والمسافة المائلة التى تحدد طول الحبال التى تحمل القائم، فإذا كان طول الحبل مقداره (L) والعمق الرأسي للماء مقداره (d) والسطح الحر للقارب (h) فإن العلاقة التى تحكم العمق الحقيقى للقائم اسفل السفينة تكون كالآتي:

$$(d+h)^2 = L^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2 \qquad (1)$$

$$d+h = \sqrt{L^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2}$$

$$d = \sqrt{L^2 - \left(\frac{x-y}{2}\right)^2} - h$$ العمق من سطح الماء

وبذلك فإن العمق الحقيقي بين المدبذب المرسل وبين قائم الاختبار هو المسافة (d - t) حيث (t) هي غاطس السفينة. ومن المفضل أن تكون حبال إنزال القائم من السلك الصلب الطرى حتى لا تتعرض للشد وزيادة الطول.

ثانياً: خطوات عمل تجربة قائم الاختبار

- وضع جهاز الأعماق على وضع التشغيل لمدة ١٠ دقائق قبل إنزال القائم في الماء.
- وضع سرعة التسجيل على الأقدام أو الأمتار.
- نوقف حركة القارب في الماء ويُفضل أن يكون العمق أكبر من ٣٠ متر.
- يفضل عدم وجود رياح أو أمواج وإذا وجدت الرياح يفضل أن تكون خلفية.
- ننزل القائم إلى اسفل مسافة ١٥ متر تقريباً (كلما كبر الطول كلما كان ذلك أفضل).
- تسجيل الأصداء من قائم الاختبار على ورق التسجيل.
- نرفق القائم مسافة ٥ أمتار ونكرر قراءة التسجيل.
- نضيف خطأ الفاصل الجانبى إن وجد.
- نستخدم ورق مربعات لتوقيع العمق الحقيقي مقابل العمق الظاهرى لجهاز التسجيل.

وبذلك فإن تجربة قائم الاختبار تمكن من تحديد قيمة التصحيحات الواجب إضافتها على الأعماق الظاهرية للجهاز مثل:

أ- معرفة الأخطاء العشوائية للجهاز كما تظهر على ورق التسجيل عند مراحل العمق المختلفة التى تتم عليها التجربة.

ب- استنتاج قيمة خطأ المؤشر لجهاز الأعماق.

ج- تحديد خطأ سرعة دوران الموتور.

د- تصحيح اختلاف سرعة انتشار الصوت في الماء.

فإذا كـان خطـأ المؤشر صغير فإنـه لا يجـب أن نقلـل مـن سـرعة دوران ريشـة التسـجيل ولكـن يُكتفـى فقـط بإضافـة التصحيـح المناسـب عنـد قيـاس العمـق. أمـا إذا كـان خطـأ السـرعة محسوسـاً فـإن سـرعة دوران الموتـور يجـب تصحيحـها بحيـث تعطـى العمـق المطـابق لعمـق قـائم الاختبار أسـفل المذبذبـات.

٨-١١ الأصداء الزائفة False Echoes

يُطلـق الاصطلاح (الصـدى الزائـف أو الكـاذب) علـى تلـك الأصـداء والأهـداف التـى تظـهر علـى شـريط التسـجيل ولا تـهم المسـاح فـى تحديـد عمـق المـاء وطبوغرافيـة القـاع. ففـى حـين أن الأصـداء الناجمـة عـن تجمعـات الأسمـاك تعتـبر صـدى كـاذب بالنسبة للمسـاح الـذى يمسـح القـاع، فإنـها تعتـبر هـدف وصـدى حقيقـى بالنسبة لأعمـال الصيـد. وهكـذا فـإن نوعيـة أعمـال المسـح أو اسـتخدام جهاز جس الأعماق هي التـى تحـدد مـا إذا كـان الصـدى كـاذب أم حقيقـى.

وفـى معظـم الأحيـان فـإن الأصـداء التـى تـرد إلينـا مـن القـاع أصـداء حقيقيـة وعلـى المسـاح أن يفسر سـبب وجـود هـذه الأصـداء ونـوع السـطح أو الهـدف الـذى تسـبب فـى انعكـاس الإشـارة الصوتيـة إلى السـفينة فـى صـورة صـدى صوتي يتم تسجيله علـى المسجل، وعلـى ذلـك فإنـه يجـب مراعـاة الدقـة فـي تحليـل بيانـات الأصـداء الـواردة إلى السـفينة، فربمـا تكـون أصـداء لمنـاطق ضحلـة قـد تسـبب خطـر علـى الملاحـة، كمـا أنـه مـن أهـم أهـداف ووظـائف المسـاح أثنـاء جـس الأعمـاق هـو تحديـد الموقـع (Fix) وتحديـد أقـل ارتفـاع للمـاء فـوق الأجسـام والأهـداف الموجـودة فـى قـاع البحـر والتـى قـد تكـون خطيرة علـى الملاحـة إذا لم يتـم اكتشـافها.

وعلـى ذلـك يجـب تحديـد الأصـداء التـى تشـكل احتمـال كبـير فـى وجـود أسـطح حقيقيـة أسـفل المـاء، ولا توجـد فـى الواقـع طريقـة مباشـرة يمكـن للمساح اتباعها لتحديـد الصدى الكـاذب مـن الأصـداء الحقيقيـة، وهـي بـالطبع تعتمـد بـالقدر الأكـبر علـى خـبرة القـائم علـى أعمـال المسـح البحـرى وتجاربـه

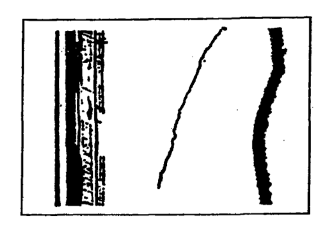
السابقة. وعلى ذلك فلا يجب أن نعامل أي صدى على أنه صدى كاذب إذا كان هناك أدنى شك في احتمال وجود جسم خطر على الملاحة.

أولاً: الأصداء الزائفة التي تسببها الأسماك False Echoes Caused by Fish

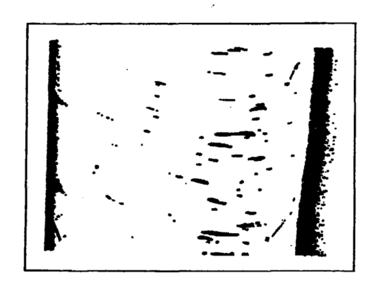
بعض أنواع الأسماك تتميز بوجود حويصلة هوائية (Swim Bladders) وعندما تكون هذه الحويصلات مملوءة بالهواء فإنها تعمل كعاكس جيد للنبضات الصوتية التي يصدرها جهاز جس الأعماق، ويعتمد شكل الصدى المرتد من هذه الأسماك على أعداد الأسماك ونوعها في المنطقة.

وفي البحار المفتوحة فإنه ليس من السهل تمييز أصداء الأسماك إلا إذا كان السمك قريباً جداً من القاع. وفي جميع الأحوال فإن أصداء الأسماك تكون بعيدة عن خط القاع الموضح على شريط التسجيل. وإذا كان هناك شك في احتمال وجود الأسماك فإنه يجب تحويل سرعة جهاز الأعماق إلى السرعة البطيئة مع زيادة مفتاح الكسب (Gain) أو التكبير بقدر الإمكان، وهذه الوسيلة سوف تعمل على تقويم الأصداء المرتدة من القاع. وإذا كان جهاز الأعماق مزود بمغير للذبذبات فإن الذبذبات الطويلة يمكنها تمييز خط القاع حتى ولو كان محجوباً بواسطة أحد أسراب السمك.

ويوضح الشكل (٨-١٩) خط الأعماق الذى حصلت عليه إحدى سفن الصيد في منطقة كبيرة. ويمكن تفسير خط من المنشار الموضح في هذا الشكل كنتيجة لحركة السفينة مع أمواج البحر، كما أن الأسماك مجمعة في سرب كثيف بالقدر الذى يظهر هذا الصدى، ومع ذلك فإننا نرى أن خط القاع واضحاً ومتميزاً وبذلك يمكن تمييز الصدى العلوى على أنه سرب أسماك. في حين أن الشكل (٨-٢٠) يوضح سجل للأعماق تم أخذه في منطقة ضحلة.



شكل (٨-١٩): أصداء مجموعات السمك فى المياه العميقة



شكل (٨-٢٠): أصداء الأسماك بالقرب من القاع

وهذه الأسماك التى تظهر أصدائها تسبح فى تجمعات صغيرة وهي تظهر كأصداء غير مستمرة ولكن واضحة عن خط قاع البحر، وهذه الأصداء هي أصداء معتادة نرصدها غالباً فى حالة وجود أسماك أسفل سفينة المسح ويظهر هذا الصدى عندما تتواجد أعداد بسيطة من الأسماك على أعماق مختلفة؛ وعندما تقترب الأصداء من خط قاع البحر فإنه يكون من الصعب تصنيف هذه الأصداء هل هي ضحل أم أسماك قريبة من القاع. ويجب على الملاح أن يكون

حريصاً ويعتبر الأصداء القريبة من القاع والمشكوك فيها على أنها نتوءات من قاع البحر وليست أسماك. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه من الصعب تمييز الأصداء الناتجة من الأسماك التى ترقد أو تسبح فوق قمم الصخور وقمم الشعاب المرجانية حيث أن الأصداء المرتدة من الأسماك يمكن تفسيرها على أنها أصداء لقمم عالية للشعاب المرجانية أو الصخور.

ثانياً: الأصداء الزائفة التى تسببها طبقات المياه

False Echoes Caused by Water Layers

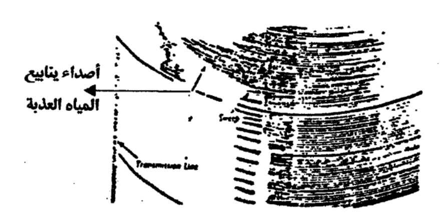
عندما تمر الموجات الصوتية من وسط إلى وسط مختلف حيث تختلف فيه سرعة الصوت، فإن الموجات الصوتية تتعرض للانكسار الطبيعى كما هو معلوم فى قوانين الضوء والصوت، وفى بعض الأحيان فإنه يحدث انعكاس جزئى للموجات الصوتية أي أن جزء من هذه الموجات ينكسر والآخر قد ينعكس وتحت ظروف معينة فإنه قد يحدث انعكاس وارتداد تام للإشارة الصوتية والتى يتم استقبالها بجهاز جس الأعماق. وكلما زادت قيمة الترددات أي كلما كانت الترددات عالية كلما زاد احتمال انعكاس الإشارات الصوتية نتيجة لاختلاف طبقات المياه ذات الخصائص الفيزيائية المختلفة مثل درجات الحرارة والملوحة.

ولما كانت أجهزة جس الأعماق تستخدم المذبذبات ذات الترددات العالية والفوق صوتية، فإن احتمال انعكاس هذه الإشارات يظل قائماً. ويجب ملاحظة الأصداء المرتدة فى هذه الحالات لتمييزها عن أصداء خط القاع الرئيسى. وأما حول الشعاب المرجانية النامية، فقد تتكون طبقات من المواد التى تفرزها الهائمات التى تعيش فى هذه البيئة والتى فى أغلب الأحيان تتسبب فى وجود طبقات تعمل على ارتداد الصدى وظهور الأصداء الكاذبة.

ثالثاً: الأصداء الزائفة التي تسببها ينابيع المياه العذبة

False Echoes Caused by Fresh Water Springs

في بعض الأماكن في البحار تتفجر ينابيع المياه العذبة أسفل البحار وتتسبب هذه الينابيع في ظهور أصداء على أشرطة تسجيل الأعماق وبعض هذه الأصداء تكون قوية وواضحة بحيث تحمل المساحين على الاعتقاد أن الأصداء الظاهرة قد تكون ناتجة عن وجود حطام سفينة أو ضحل صغير، وأكثر الأماكن شيوعاً في وجود الينابيع البحرية العذبة هي منطقة الخليج العربي حيث قاع البحر يمتد في طبقات مستوية من الحصي الرملي، ويُعتقد أن وجود هذه الينابيع له علاقة بالنشاط البترولي في هذه المنطقة، ويوضح الشكل (٨-٢١) ظهور بعض الأصداء التي تعكسها ينابيع المياه العذبة عند جس الأعماق في البحر.



شكل (٨-٢١): تأثير الينابيع البحرية للماء العذب

ويمكن التحقق من هذه الأصداء الناتجة عن الينابيع بأن يقوم المساح بأخذ عينات من المياه في المنطقة المشكوك في وجود الينابيع العذبة بها وعلى فواصل تصل إلى ١٠٠ متر بين كل عين مياه، فإذا اتضح أن ملوحة المياه تقل في المنطقة التي تظهر فيها الأصداء المشكوك في أصلها فإنه يجب اعتبار أن الأصداء ناتجة عن المياه العذبة في تلك المنطقة.

وإذا تلاحظ أن ينـابيع الميـاه العذبـة تتواجـد بوفـرة فـي المنطقـة، فإنـه يمكـن التأكد مـن صحـة وجودها ومـن الأصداء التـي تظهر علـى شـريط التسجيل بواسـطة المسح بالسلك أو بواسطة أخـذ عينـات الميـاه وفـي كلتـا الحـالتين تسـتغرق الكثير مـن الوقـت والجـهد ولا يتـم إجرائـها إلا في حالة المسح الدقيق للعمـق للتـأكد مـن خلـو المنطقـة مـن العوائـق الملاحيـة في الأمـاكن القليلة الأعمـاق نسـبياً.

رابعاً: الأصداء الزائفة التي تسببها النباتات البحرية

False Echoes Caused by Kelp or Weeds

مـن الصعب تمييز الأصداء التـي تسـببها النباتـات البحريـة خاصـة نباتـات الكلـب التـي يبلغ طولها في بعـض الأحيـان أكـثر مـن ١٠٠ مـتر وممتـدة في اتجاه رأسي وفـي مجموعـات كبـيرة فـي بعـض الأمـاكن مـن البحـار غـير أن الأصـداء المرتـدة مـن خـط القـاع عـادة مـا تكـون أكـثر قـوة ووضوحـاً مـن الأصـداء المرتـدة مـن هـذه النباتـات، ويكـثر وجـود النباتـات البحريـة فـي الميـاه القريبـة مـن السـاحل وعنـد أي عمـق، ويمكـن التـأكد مـن وجـود هـذه النباتـات عـن طريـق مقارنـة الأعمـاق بواسطة اسـتخدام حبـل الجس Lead Line والـذي غالبـاً مـا تعلـق بـه كميـة مـن الحشـائش والنباتـات والتـي تؤكـد وجـود هـذه الظـاهرة وبالتـالي اسـتبعاد الأصـداء الناتجـة عنـها مـن حسـابات خـط القـاع وطبوغرافية القاع.

خامساً: الأصداء الجانبية **Side-Lobe Echoes**

يتضح مـن خصـائص الطاقـة التـي تحتويـها النبضـات أنـها تحتـوى علـى حزمـة رئيسـية مركزيـة بالإضافـة إلى حـزم جانبيـة وهـي مـا يطلـق عليـها الحزم الجانبيـة Side Lobes والموضحـة فـي الشـكل رقـم (٨-٥)، فـإذا اصطدمـت إحـدى هـذه الحـزم الجانبيـة بـهدف جـانبي رئيسـي أسـفل السـفينة مباشـرة فـإن الهـدف سـوف يظـهر علـى شـريط التسـجيل وكأنـه أسفل السفينة حيـث أن جميـع الأصـداء الناتجة عـن طاقـة النبضـة سـواء

ما كان منها في الحزمة الرئيسية المركزية أو الحزم الجانبية فإنها سوف ترتد كما لو كانت منعكسة من محور الحزمة الرئيسية، وتبدو هذه الأصداء الناتجة عن الحزم الجانبية على أعماق صغيرة أسفل السفينة مباشرة واقل بالطبع من العمق الحقيقي للقاع، ويمكن للحزم الجانبية أن تسبب خط أعماق متصل وممتد بطول خط المسح ولكن لمسافة اقل من العمق الحقيقي، ويمكن التمييز بسهولة بين الأصداء الجانبية وبين تلك الأصداء الكاذبة الناتجة عن الأسماك أو النباتات البحرية بمعرفة الظروف التي يتم فيها المسح. وعادة ما تكثر هذه الأصداء الجانبية من حطام السفن ومن الأرصفة البحرية (السقالات) بالقرب من أرصفة الموانئ.

سادساً: التقلبات المائية Turbulence

تتكون التقلبات المائية البحرية في الأماكن التي تتعرض للتفاعل التبادلي من تيارات المد والجزر في البحار المفتوحة Interaction of Tidal Streams أو في مناطق مصبات الأنهار وهي أحياناً قد تسبب أصداء كاذبة في حين أنها في أحيان كثيرة لا تظهر أي أصداء زائفة نتيجة لذلك. أي أن هذا النوع من الأصداء ليس شائع الحدوث كما قد يختلط الأمر مع الأصداء الناتجة عن طبقات الكتل المائية ذات الخصائص المختلفة.

سابعاً: الأصداء الزائفة التي تسببها المعدات المستخدمة Instrumental False Echoes

بالطبع يمكن تجنب حدوث الأصداء الزائفة التي تسببها المعدات المستعملة في عملية جس الأعماق وذلك بتوخي الحيطة واتباع التسلسل المنطقي لأعمال المسح. فعلى سبيل المثال فإن وضع جهاز الأعماق بالصدى على وضع الحساسية العالي أو وضع الكسب Gain الكبير ينتج بعض العلامات والأصداء على شريط التسجيل من وقت لآخر لا علاقة لها بالأهداف التي تختفي تحت سطح الماء، كما أن

الاضطرابات الفجائية سواء في عدد الذبذبات التي يصدرها الجهاز أو قيمة فرق الجهد أو اختلاف السرعة التي تدور بها ريشة التسجيل أو اختلافات ميكانيكية أثناء المسح والتي قد تسبب بعض الأصداء الكاذبة.

وفي بعض الأحيان سجلت أصداء ناتجة عن الأصوات التي تبعثها بعض الأجهزة في غرفة آلات السفينة أو عند وجود طرق غير عادى في بدن السفينة أثناء المسح مما قد يسبب أصداء، أو حتى مرور سفينة بجانب سفينة المسح فإنه من المحتمل استقبال بعض الأصداء الناتجة عن السفينة الأخرى، وفي القوارب الصغيرة فإنها عرضة أكثر من غيرها في تعرضها لظاهرة الأصداء الكاذبة الناتجة عن الأجهزة والمعدات الغير محكم استخدامها.

وكما هو الحال في بعض الأحيان حيث نحصل على أصداء كاذبة ونعتقد أنها أصداء لأهداف حقيقية، فإن احتمال حصول المساح على أصداء حقيقية لأهداف مغمورة تحت سطح الماء وتشكل أخطار ملاحية حقيقية ولكن تبدو بجانب ظروف المسح المحيطة وكأنها أصداء زائفة، وهنا تكمن الخطورة في معالجة الأصداء التي تبدو غريبة عن المعتاد كأنها أصداء زائفة.

فعلى سبيل المثال فإن العوامات المعلقة في منتصف الطريق في عمق الماء تبدو أصدائها كأسماك كما أن أقفاص الصيد المعدنية التي يتركها الصيادون أو الألغام البحرية المعلقة أو وجود غطاسين تحت الماء، فإن هذه الأهداف تعكس أصداء تبدو كأنها زائفة وكاذبة ولكنها في حقيقة الأمر أصداء حقيقية ويجب تسجيلها بدقة.

ثامناً: الأصداء من الأعماق الضحلة والكبيرة

Multiple Echoes Caused by Shallow Water

عندما يكون قاع البحر صخرى وذو خصائص جيدة لانعكاس الإشارة وفي المناطق الضحلة منه فإنه من المحتمل أن يرتد الصدى من قاع البحر فيترك هذا الصدى الأثر الدال على العمل الحقيقي للقاع

ثم تنعكس نفس النبضة الصوتية من قاع السفينة مرة أخرى إلى قاع البحر ثم ترتد مرة أخرى من القاع في اتجاه السفينة فيستقبلها جهاز الاستقبال مرة ثانية قبل بداية إرسال النبضة التالية وبالتالي فإننا نحصل على خط أعماق أساسي ثم خط أعماق مماثل له وعلى مسافة مساوية للعمق الأول ولكن شدة الصدى تكون بالطبع أقل من الأول، فإذا توافرت هذه الشروط المذكورة على سبيل المثال على عمق ٢٠ متر فإننا نجد الخط الأول على عمق ٢٠ متر والثاني على عمق ٤٠ متر وقد يحدث انعكاس ثالث على عمق ٦٠ متر وهكذا، وللتغلب على هذه الأصداء المتتالية لنفس خط القاع يمكن خفض مقدار الكسب Gain، ويوضح الشكل (٨-٢٢) صورة للصدى المتكرر لقاع صخرى على عمق يتراوح بين ١٤-١٨ متر.

وعند رصد الأعماق الكبيرة والتي قد تزيد من أقصى مدى يمكن للجهاز قياسه في دورة واحدة حيث يحدث هذا إذا كانت الفترة الزمنية بين النبضة الصوتية التي يطلقها جهاز جس الأعماق والنبضة التالية لها تسمح بقياس عمق أقل من العمق الحقيقي الذي يتم فيه الجس، فعندئذ نجد أن إشارة النبضة الأولى تنطلق في اتجاه القاع وتستغرق وقتاً طويلاً قبل أن تعود مرة أخرى يكون خلالها جهاز الإرسال قد قام بإرسال النبضة الثانية ثم يستقبل الجهاز الصدى المرتد من النبضة الأولى في زمن إرسال النبضة الثانية فتسجل الأعماق على عمق أقل من العمق الحقيقي بمقدار أقصى قيمة يمكن للجهاز قياسها.

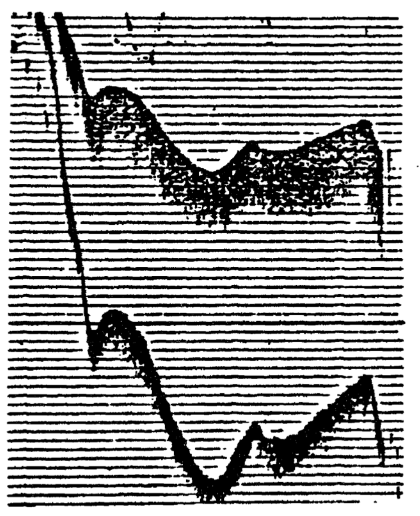
فإذا كان معدل إرسال النبضات الصوتية هو ٦٠ نبضة/دقيقة فإن الفترة الزمنية بين كل نبضتين تكون ثانية واحدة ولكن أقصى عمق يمكن قياسه هو ٧٥٠ متر.

$$D = \frac{1}{2} t v = \frac{1}{2} \times 1 \times 1500 = 750 \text{ m}$$

فإذا سجل الجهاز خط القاع على عمق ٥٠ متر فقط فمعنى ذلك أن العمق الحقيقي هو:

العمق الحقيقى = العمق الظاهرى + أقصى عمق مصمم عليه الجهاز

= ٥٠ + ٧٥٠ = ٨٠٠ متر.

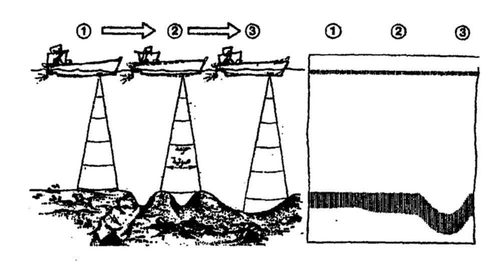


شكل (٨-٢٢): الأصداء المتكررة

تاسعاً: أصداء القاع المائل أو المتعرج Slant Floor Echoes

عند مرور السفينة بالقرب من قاع مائل أو بالقرب من حرف مائل أو منطقة تنحدر بميل شديد فإنه من المحتمل أن تنعكس الطاقة الصوتية عن جهة الحزمة الصوتية وليس من محورها فى حين أن جميع الأصداء التى ترتد من النبضة الواحدة تظهر وكأنها مرتدة من أصداء المحور المنصف للحزمة الصوتية، وعلى ذلك فإن الأعماق

الجانبية قد تظهر وكأنها أعماق اقل من الحقيقة أسفل السفينة مباشرة وليس علي أجنابها ولا يظهر هذا التأثير في ميل القاع بل يظهر وكأنه خط مستوى أقل في العمق. ويوضح الشكل (٨-٢٣) أثر العمق المائل على الأعماق المسجلة حيث أن العمق يوضح الحافة العليا للقاع.



شكل (٨-٢٣): أثر القاع المائل أو المتعرج

عاشراً: الأخطاء التي تسببها فقاعات الهواء Error Caused by Air Bubbles

تتأثر الموجات الصوتية عند مرورها في وسط مائي يشتمل على فقاعات هوائية حيث أن سرعة الصوت في الماء خمس أضعاف سرعته في الهواء، فالطاقة التي تحملها النبضة التي يطلقها جهاز الأعماق سوف تتعرض لخفض شدتها بنفس النسبة تقريباً بالإضافة إلى أن الموجات الصوتية قد تنكسر وقد تنعكس عند اصطدامها بهذه الفقاعات الهوائية التي قد توجد في الماء وترتد مرة أخرى مسببة أصداء زائفة أي أن وجود فقاعات هوائية له تأثيرين أساسيين على الموجات الصوتية، الأول هو إضعاف طاقة هذه الموجات الصوتية أثناء ذهابها للقاع وأثناء عودتها لوحدة الاستقبال، والثاني هو وجود أصداء زائفة. وتنتج الفقاعات الهوائية من:

أ- سير السفينة فى بحر مضطرب مما يحدث درفلة طولية تحجز أسفلها وسادة هوائية.

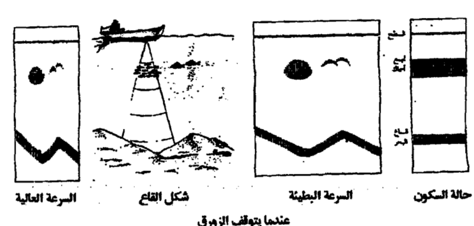
ب- سير السفينة للخلف مما يجعل الرفاص يسحب ماء ممزوج بفقاعات هوائية.

ج- وجود فقاعات هوائية فى باطن الأسماك.

٨-١٣ الأخطاء الذاتية لقياس الأعماق

أولاً: أثر سرعة السفينة على شكل القاع

عندما تكون السفينة متوقفة فإن خط الأعماق يظهر كخط مستقيم بدون تغير وعندما تسير السفينة ببطء فإن المسافة بين التعرجات التى توجد فى القاع تبدو متباعدة فيما بينها، ونلاحظ أنه إذا زادت سرعة السفينة فإن المسافة الأفقية بين التعرجات تبدو متقاربة جداً وهذا يوضح أن الشكل الذى يظهر على شريط التسجيل لا يمثل الشكل الحقيقى للقاع ولا يجب أن نعامله كخريطة تضاريسية للقاع وعلى الملاح أو المساح أن يستخرج البيانات الرأسية فى حينها وليس البيانات الأفقية على شريط التسجيل. ويوضح الشكل (٨-٢٤) المنظر الحقيقى للقاع وشكله على ورق التسجيل مع اختلاف سرعة السفينة.



عندما يتوقف الزورق
فإن صورة عدد الأسماك
قد تكون غير حقيقية

شكل (٨-٢٤): تأثير سرعة السفينة

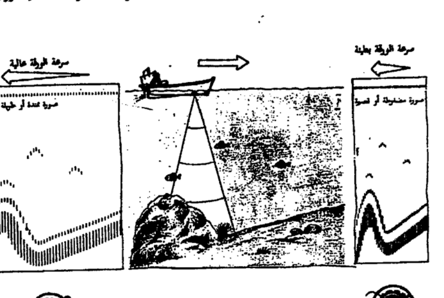
ثانياً: الشوشرة العارضة

تحدث الشوشرة العارضة نتيجة انتقال جزء من طاقة الموجات الصوتية المرسلة إلى مذبذب الاستقبال عن طريق بدن السفينة أو المياه الفاصلة بين المرسل والمستقبل، وعند ارتداد الأصداء فإن مقدمة النبضة تنشط جهاز الاستقبال وتتسبب فى إظهار أصداء للعمق قبل وصول النبضة الفعلية.

وتظهر هذه الشوشرة كعدة خطوط أو أشرط رأسية أسفل صفر التدريج ويمكن التغلب على تأثير الشوشرة عن طريق خفض مقدار الكسب Gain بحيث يمكن استقبال أصداء القاع فقط بدرجة كافية من الوضوح.

ثالثاً: أثر سرعة شريط التسجيل

على الملاح أن يتحكم فى سرعة شريط التسجيل، فقد يكون الشريط متوقف تماماً أو يتحرك ببطء أو يتحرك بسرعة. وفى الحالة الأولى يظهر العمق كخط رأسى واحد ليس له امتداد أفقى لأن الشريط يكون ثابتاً وفى الحالة الثانية تبدو صورة القاع مضغوطة وفى الحالة الأخيرة عندما تكون سرعة الشريط عالية تبدو صورة القاع ممتدة وطويلة. ويوضح الشكل (٨-٢٥) أثر سرعة الشريط على صورة القاع.

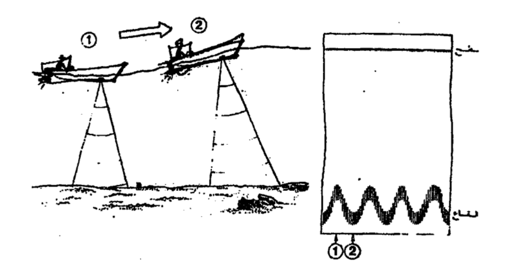




شكل (٨-٢٥): أثر سرعة الشريط على صورة القاع

رابعاً: أثر الأمواج على شكل القاع

عندما يكون البحر هادئاً فإن صورة القاع تعبر عن شكله الحقيقي ولكن عندما تتعرض سفينة المسح للأمواج وللحركة الرأسية الناتجة عن هذه الأمواج فإن شكل القاع الذي يظهر على شريط التسجيل يكون متعرجاً بقدر يعادل ارتفاع الموج المؤثر على السفينة، ويوضح الشكل (٨-٢٦) أثر التموج على صورة القاع والتي تظهر في الشكل أن القاع مموج وهذا غير حقيقي.



شكل (٨-٢٦): أثر الأمواج علي صورة القاع

٨-١٣ أجهزة قياس الأعماق ذات الحزم المتعددة Multibeam Echoesounders

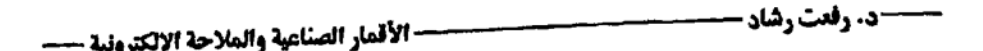
تستخدم أجهزة الحزم المتعددة في قياس الأعماق في الحالات التي يُراد فيها إجراء أعمال مسح واسعة النطاق ولتخفيض عدد مرات خطوط المسح، وفي هذه الأجهزة يتم تركيب عدة مذبذبات في شكل مروحي بحيث يغطي مساحة على كلا جانبي سفينة المسح ويتم تغذية المذبذبات بالطاقة بشكل متتابع له طور مختلف وفقاً لعدد المذبذبات.

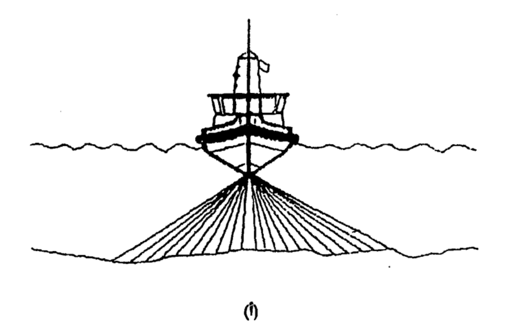
ويوضح الجدول (٨-١) بعض أنواع أجهزة الحزم المتعددة وترددداتها كما يوضح الشكل (٨-٢٧) أجهزة قياس الأعماق ذات الحزم المتعددة الأول منها (أ) مروحي ويتم بث ترددات من موقع واحد بقاع سفينة الرصد والثاني (ب) متوازي يتم فيه بواسطة عارضات على كلا جانبي سفينة المسح وتوزع الإشارة الصوتية في كلا النوعين بطور مختلف ويمكنها جس الأعماق في منطقة عرضية أكبر من الحزمة الواحدة (Single Beam) وبنفس الدقة في توضيح الأصداء.

جدول (٨-١):

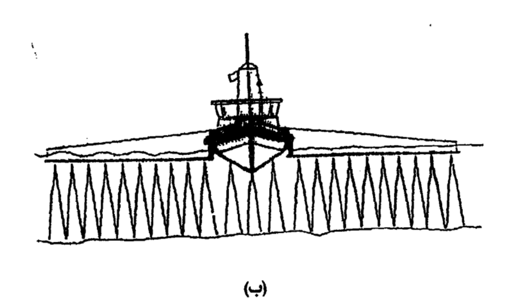
بعض ترددات أنظمة جس الأعماق ذات الحزم الصوتية المتعددة وخصائصها

التردد	أقصى/أقل عمق	عدد الحزم	الاستخدامات
300 Khz	0.5/200 M	127	سهل الحمل لتصوير قاع البحر في المياه الضحلة
300 Khz	0.5/200 M	254	سهل الحمل لتصوير قاع البحر في المياه الضحلة
95 Khz	2/400 M	120	تصوير قاع البحر في المياه الضحلة والمتوسطة العمق
95 Khz	2/1000 M	120	تصوير قاع البحر في المياه الضحلة والمتوسطة العمق
30 Khz	5/5000 M	135	لتصوير الجرف القاري
13 Khz	50/11000 M	81	لتصوير قاع المحيط بالكامل
13 Khz	50/11000 M	162	لتصوير قاع المحيط بالكامل
12 Khz	10/11000 M	121	لتصوير قاع المحيط بالكامل





(أ)



(ب)

شكل (٨-٢٧): أجهزة قياس الأعماق ذات الحزم المتعددة



الفصل التاسع

عدادات السرعة والتراكي

ومبين الدوران

Logs, Berthing System and Rate of Turn Indicator

٩- عدادات السرعة والتراكي ومبين الدوران

قياس السرعة هي واحدة من أهم المعلومات الملاحية التى يجب معرفتها بصفة مستمرة وبدقة لتحديد الموقع سواء الموقع الحسابي أو الموقع المرصود وتحديد موقع السفينة لم يعد يعتمد على الموقع الحسابى خاصة فى وجود العديد من الأجهزة والأنظمة الملاحية التى أصبح فى إمكانها تحديد الموقع بسهولة. ولمعرفة سرعة السفينة يجب إيجاد العلاقة بين التغير في المسافة مع التغير في الزمن أى تفاضل المسافة مع الزمن وقياس تغير المسافة يجب أن يكون منسوباً الى جزء ثابت على سطح الأرض وهو ما يسمي السرعة فوق الأرض Ground Velocity.وإذا لم تتوافر هذه العلاقة فإنه يمكن قياس السرعة منسوبة الى كتلة المياه المحيطة بالسفينة وهى ما تعرف باسم السرعة النسبيةRelative Velocity.

والسرعتان تستخدمان فى الملاحة فإذا لم تتوافر شروط القياس للسرعة الأرضية فإنه يمكن استخدام السرعة النسبية بدقة مقبولة للأغراض الملاحية بعد عمل حسابات التيارات المائية حول السفينة.

وتوجد أنواع متعددة من أجهزة قياس السرعة بعض منها يعتمد علي قياس الضغط الناشئ عن حركة السفينة وتسمي أجهزة القياس الضغطية وأخرى يعتمد علي رفاصات صغيرة تدور نتيجة لحركة السفينة في الماء وهي تسمي بعدادات الشرتكيفImpeller Logs وبعض من هذه العدادات يعتمد على تكوين مجال كهربائى يتناسب مع سرعة السفينة أو باستخدام ظاهرة الدوبلر في معرفة السرعة.

كما انه يمكن استخدام أجهزة قياس السرعة التى تعتمد على العلاقة التبادلية فى تحديد الأصداء الواردة من القاع لقياس سرعة السفينة وهو ما يعرف باسم Correlation Logs.

وسواء تم استخدام قياس الدوبلر أو الأجهزة التبادلية فكل منهما يمكنه قياس السرعة منسوبة الى قاع البحر إلا إذا زادت الأعماق عن ٢٠٠متراً فإن الإشارة التي ترسلها المذبذبات الصوتية تضعف وفي هذه الحالة يتم قياس

السرعة منسوباً الى كتلة المياه على بعد يبدأ من ١٢ متراً أسفل السفينة وحتى ٢٠٠ متراً وهذه السرعة تكون أقرب للسرعة الفعلية من القياس المباشر بالقرب من بدن السفينة.

وبالرغم من أهمية وجود عدادات السرعة على ظهر السفينة فإن أجهزة تحديد الموقع بالأقمار الصناعية جي.بي.أس قد أتاحت لنا الفرصة في معرفة سرعة السفينة بدقة عالية وتعتمد في ذلك على قياس المسافة بين موقعين مرصودين والزمن بين الراصدات ويمكنها توفير معلومات السرعة الحقيقية كما أنه باستطاعة بعض أجهزة الاستقبال جي بي اس والتي تعمل على قياس فرق الدوبلر في الإشارات المستقبلة على السفن يمكنها تحديد سرعة السفينة بدقة كبيرة جداً.

٩-١ عداد السرعة الكهرومغناطيسي The Electromagnetic Speed Log

تعتمد نظرية قياس السرعة عن طريق القوة الدافعة الكهربية المتولدة على نظرية فاراداى والتي توضح العلاقة بين مقدار شدة القوة الدافعة الكهربية المتولدة نتيجة لحركة ملف ابتدائي داخل موصل كهربائي في مجال مغناطيسي فإن تيار حثي Induced سوف يتولد في طرفي الموصل. وتتناسب شدة التيار الحثي (القوة الدافعة الكهربية) المتولدة مع سرعة تحرك الموصل داخل المجال المغناطيسي.

فإذا افترضنا وجود مجال مغناطيسي ثابت فإن مقدار القوة الدافعة الكهربية سوف يتناسب طردياً مع سرعة السفينة وعند استخدام هذه النظرية في قياس السرعة فإن الموصل الكهربائي هو ماء البحر الذى يحيط بالسفينة، أما المجال المغناطيسي فإنه يمكن توليده عن طريق تمرير تيار ثابت داخل ملف Solenoid يتم تعريضه أثناء حركة السفينة.

فعند حركة السفينة فإن الموصل وبالتالي حركة المجال المغناطيسي في المياه الموصلة للكهربية تعمل على توليد تيار حثي حول الملف الابتدائي فإذا وضعنا قطبين موصلين بالقرب من الملف الابتدائي فإنه سوف تنشأ عليها قوة كهربية (حثية) أثناء حركة السفينة تتناسب مع سرعة السفينة.

ويوضح الشكل (٩-١) الملف الابتدائي Solenoid يتحرك عمودياً على المجال المغناطيسي المتولد حوله، وبالتالي ينشأ تيار حثي على كلا القطبين المثبتين بجانبي الملف الابتدائي.

فإذا كان التيار الابتدائي هو تيار ثابت (dc) فإن قيمة التيار الحثي تكون كالآتي:

$$emf = BLV$$

حيث: emf = القوة الدافعة الكهربية الناتجة عن حركة السفينة

B = المجال المغناطيسي الحثي.

L = طول الموصل

V = سرعة السفينة.

ولكن (B) تكون مساوية لقوة المجال المغناطيسي أي أن: $emf = HLV$،
وإذا ما تغير التيار الكهربائي من تيار ثابت الى تيار متغير (AC) لتوليد المجال المغناطيسي فإن شدة المجال سوف تتناسب مع $(H \sin wt)$ حيث أن العلاقة الثابتة مع حركة التيار المتغير هي علاقة جيبية. وكذلك فإن مقدار القوة الدافعة الكهربية (emf) سوف تتناسب مع أقصى قيمة لشدة المجال (H) وجيب الزاوية θ أى أن:

$$emf = HLV \sin\theta$$

ولكن $wt = \theta$

حيث:

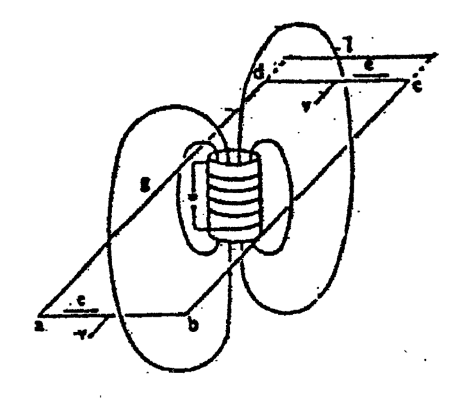
(w) هى السرعة الزاوية لتغير التيار

(t) الزمن، أي أن: $emf = HLV \sin wt$

وإذا كان كل من شدة المجال (H) وطول الموصل قيماً ثابتة فإن مقدار القوة الدافعة الكهربية تتناسب مع سرعة السفينة.

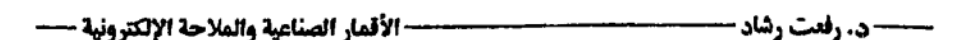
$$emf = KV$$

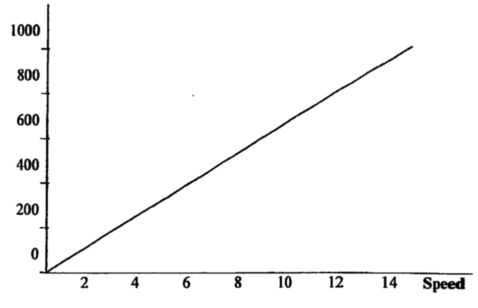
حيث K مقدار ثابت يساوى $(HL \sin wt)$.



شكل (٩-١): الملف الابتدائي لعداد السرعة الكهرومغناطيسي

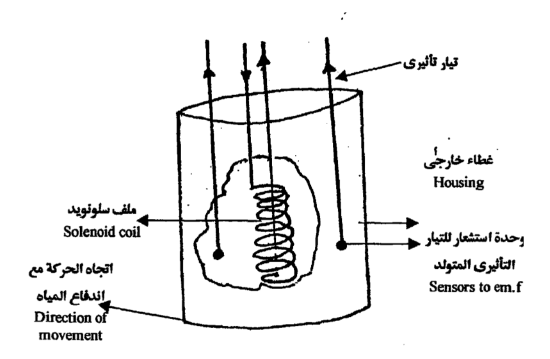
ويوضح الشكل (٩-٢) العلاقة الخطية بين سرعة السفن ومقدار القوة الدافعة الكهربية بالفولت، وكلما زادت السرعة زادت قيمة القوة الدافعة الكهربية ومن الواضح أن قيمة القوة الدافعة الكهربية تكون صغيرة غير أنه إذا أردنا تكبير هذه القيمة فإنه يمكن زيادة التيار الابتدائي الذى يعمل على توليد المجال المغناطيسي الحثي أو زيادة عدد الملفات في المنحنى الابتدائي وكلاهما سوف يجعل المجال المغناطيسي B ذو قيمة كبيرة وبالتالي تزداد قيمة القوة الدافعة الكهربية الناتجة عن سرعة السفينة.





شكل (٩-٢): العلاقة بين سرعة السفن ومقدار القوة الدافعة الكهربية

ويوضح الشكل (٩-٣) وحدة الحساسية المستخدمة في جهاز قياس السرعة الكهرومغناطيسية. وتتميز هذه العدادات التي تعتمد على المجال الكهرومغناطيسي في أنه يمكنها قياس سرعة السفينة الأمامية أو الخلفية وأن الجزء البارز منها خارج السفينة يمكن تثبيته في الجانب وبذلك لا يتعرض للتلف كما أنه ليس من الضروري رفعه أو إنزاله عند التشغيل غير أنه يعيب عليه أنه يقيس سرعة السفينة منسوبة الى حركة المياه المحيطة بالسفينة أي السرعة النسبية في الماء فقط ويجب معرفة سرعة واتجاه التيار لتقدير السرعة الفعلية التي تسير بها السفينة منسوبة الى قاع البحر.



شكل (٩-٣): مكونات العداد الكهرومغناطيسى

٩-٣ عداد السرعة الضغطى **The Pressure Tube Log**

عندما يتم إنزال أنبوبة مغلقة من طرف ومفتوحة من طرف آخر الى الماء فإن سطح الماء داخل الأنبوبة يتناسب مع عمق الماء الذى نزلت إليه الأنبوبة أو بمعنى آخر تتناسب مع ضغط الماء الإستاتيكى، أما إذا تحركت هذه الأنبوبة مع توجه فتحتها فى اتجاه حركة السفينة فإن ضغط المياه سوف يزداد ويرتفع سطح الماء داخل الأنبوبة بمسافة تتناسب مع الضغط المتولد الناشئ عن حركة السفينة، هذا الضغط الدينامىكى ويكون المجموع الكلى للضغط داخل الأنبوبة هو مجموع كل من الضغط الإستاتيكى والضغط الدينامىكى.

ويتكون عداد السرعة الضغطى فى أبسط صوره من وعاء به حاجز مطاطى Diaphragm يقسم الوعاء الى جزئين ويوصل الجزء العلوى بفتحة متصلة بأنبوبة فتحتها الى أسفل لقياس الضغط الإستاتيكى والذى لا يتأثر بحركة السفينة.

أما الجزء الأسفل من الوعاء فإنه يتصل بأنبوبة ذات فتحة متجهة في اتجاه حركة السفينة الأمامية والتي يمكنها قياس الضغط الديناميكي الناشئ عن سرعة السفينة.

فإذا كانت السفينة في حالة السكون فإن كل من الضغط الديناميكي والضغط الإستاتيكي يتعادلان ويثبت الحاجز المطاطي على مستوى واحد ولكن عند تحرك السفينة الى الأمام بسرعة معينة فإن الضغط سوف يزداد في أنبوبة قياس الضغط الديناميكي والذي يضغط على الحاجز المطاطي فيحركه الى أعلى وعند تركيب عمود الحساسية أعلى سطح الحاجز المطاطي فإن الحركة الميكانيكية الناشئة على عمود الحساسية سوف تتناسب مع سرعة السفينة الأمامية.

ويبين الشكل (٩-٤) غرف الضغط وكل من أنبوبة الضغط الإستاتيكي والضغط الديناميكي وعمود الحساسية. ومن المعروف أن الضغط المتولد نتيجة سرعة السفينة يتناسب مع دفع السرعة. أي أن:

$$P = KV^2$$

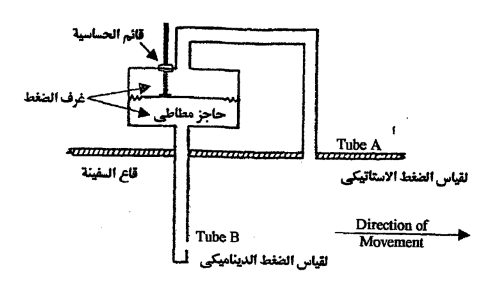
حيث أن:

P = الضغط الديناميكي

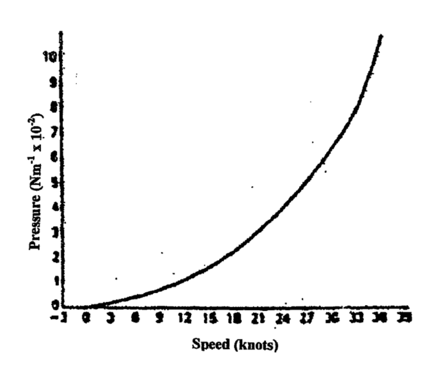
K = ثابت

V = سرعة السفينة.

مع العلم أن (K) تتناسب مع حمولة السفينة وشكلها وعلى طول أنبوبة الضغط الديناميكي أسفل وعاء الضغط وهذه العلاقة توضح أن سرعة السفينة ليست على علاقة خطية مع الضغط الديناميكي ولابد من وجود وسيلة لتحويل العلاقة التربيعية بين الضغط والسرعة الى علاقة خطية تسهل قياسها مباشرة ويوضح الشكل (٩-٥) منحنى العلاقة بين سرعة السفينة بالعقدة والضغط بالنيوتن. ويتضح من العلاقة الرياضية ومكان تثبيت أنابيب الضغط أن العداد يقيس فقط سرعة السفينة أثناء تحركها للأمام منسوبة لماء البحر.



شكل (٩-٤): عداد السرعة الضغطى



شكل (٩-٥): منحنى العلاقة بين السرعة والضغط

ويلاحظ صعوبة استخدام أجهزة قياس السرعة الضغطية فى حالة سير السفينة للخلف كما أن السرعة المقاسة هى السرعة النسبية الناتجة عن حركة السفينة والماء معا ويجب معرفة اتجاه وشدة التيار حتى يمكن تقدير سرعة السفينة الفعلية منسوبة لقاع البحر.

ويعيب على هذا النوع من العدادات الآتى:

أ- قياس سرعة السفينة للأمام فقط.

ب- قياس سرعة السفينة منسوب الى الماء أى السرعة النسبية لحركة الماء وليست السرعة الفعلية فوق الأرض.

جـ- قد تتعرض أنبوبة الضغط الدينامكى (B) للتلف عند الملاحة فى المياه الضحلة أو عند دخول الحوض الجاف.

٩-٣ عداد السرعة الصوتى المضاهى Acoustic Correlation Log

على عكس الطرق السابقة فى قياس سرعة السفينة فإن أجهزة القياس التى تقارن بين البيانات التى نحصل عليها فى أزمنة مختلفة وكذا أجهزة قياس فرق الدوبلر فإنها تقيس سرعة السفينة منسوبة الى قاع البحر وبالتالى فإنها تقيس السرعة الفعلية للسفينة وليس السرعة النسبية.

ويمكن لهذه الأجهزة قياس السرعة الفعلية Ground Velocity. حتى أعماق تصل الى ٢٠٠ مترا تحت السفينة أما إذا زادت الأعماق عن ذلك فإن السرعة تتحول أوتوماتيكيا الى سرعة منسوبة الى كتلة الماء.

وتقوم المذبذبات Transducers التى تشبه فى تكوينها مذبذبات أجهزة قياس الأعماق بالصدى فى إرسال إشاراتها على شكل نبضات قصيرة ترددها ١٥٠ ك.هـ من مذبذبين مثبتين على الخط الطولى للسفينة أمام وخلف وتفصل بينهما مسافة محدودة ويقوم كل مذبذب بإرسال إشاراته عموديا على مستوى الماء فى اتجاه القاع مباشرة وتقوم هذه المذبذبات بإرسال إشارتها فى آن واحد ويعقب فترة الإرسال فترة الاستقبال. ثم يقوم الجهاز باستقبال أصداء الأعماق المرتدة من القاع أسفل السفينة ويكون الفرق فى الزمن بين وصول أصداء لأهداف واحدة متماثلة بقاع البحر متناسب مع سرعة السفينة حيث أن المسافة بين مكان تثبيت كلا المذبذبين

ثابتة ويوضح الشكل (٩-٦) وجود إشارة متطابقة مرتدة من القاع من كلا المذبذبين ولكن يوجد فرق في زمن استقبال كل منهما أي أن الإشارة المستقبلة من كل مذبذب تكون متطابقة في الشكل ولكنها تختلف في زمن الاستقبال وبالتالي فإن الزمن يكون كالآتي:

$$T = 0.5 \times S/V$$

حيث:

S = المسافة بين مكان تثبيت المذبذبات بقاع السفينة

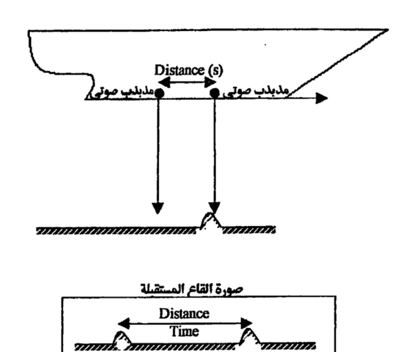
V = سرعة السفينة.

ومنها فإن السرعة (V):

$$V = 0.5 \times S/T$$

وعلى ذلك فإن سرعة السفينة يمكن قياسها عن طريق مقارنة الإشارات المستقبلة من كل من مذبذبين مثبتان على مسافة مقدارها (S) طوليا في تقدم وتأخر السفينة ويجب ملاحظة أن الزمن المقاس هو الزمن بين استقبال كلا الإشارتين وليس الزمن بين إرساله واستقباله، حيث أن الزمن بين إرساله واستقباله يوضح العمق في حين أن الزمن بين الاستقبال الأول والاستقبال الثاني يعطي قيمة سرعة السفينة كما يجب ملاحظة أن درجة حرارة الماء والعمق والملوحة لن تؤثر على دقة قياس السرعة حيث أن كلا الإشارتين معرضتان لنفس الظروف ويكون الفرق بين وصول الإشارات متساويا في جميع حالات الانتشار ويتضح من هذا التكنيك أنه في الإمكان قياس عمق الماء أيضا وإيضاحه على أجهزة البيان المناسبة وهذا العمق يكون متناسبا مع الفرق في الزمن بين إرسال النبضة واستقبالها لأي من المذبذبات.

وتستخدم أجهزة قياس السرعة بالعلاقة التبادلية لتضاهي بين الإشارات المرتدة من مذبذبات ذات أحجام صغيرة وبالتالي فإنها تقوم بتوليد ترددات عالية جدا فوق صوتية قيمتها من ١٥٠ الى ١٠٠٠ ك.هـ..



شكل (٩-٦): نظرية عمل عداد السرعة التبادلي

وتتميز هذه العدادات بإمكانية قياس سرعة السفينة الفعلية Speed Over Ground وقياس السرعة الأمامية والخلفية حسب حركة السفينة للأمام أو للخلف وأخيرا فإن اختلاف درجة الحرارة والملوحة والعمق لا تؤثر على دقة قياس سرعة السفينة.

٩-٤ عداد السرعة الدوبلر **Doppler Speed Logs**

دائما ما تستخدم ظاهرة الدوبلر لقياس سرعة الهدف المتحرك و الدوبلر هو الفرق بين الترددات المرسلة والترددات المستقبلة لنفس الإشارة نتيجة لتحرك مصدر الإشارات أو المستقبل أو كلاهما وتستخدم الأجهزة الحديثة لقياس السرعة من هذه الظاهرة والتى يمكنها قياس السرعة المنسوبة الى قاع البحر Bottom Tracking وبدقة عالية جدا.

فإذا تم إطلاق شعاع من الترددات الفوق صوتية في اتجاه خط سير السفينة فإن الترددات المستقبلة سوف تختلف عن تلك التي تم إرسالها وتعتمد قيمة الاختلاف بين كلا الترددات على العوامل التالية:

أ- الترددات المرسلة

ب- سرعة انتشار الموجات الصوتية في الماء

ج- سرعة السفينة في الماء منسوبة للقاع.

ويكون فرق الترددات (fd):

$$fd = ft - fr$$

حيث:

(ft) = الترددات المرسلة

(fr) = الترددات المستقبلة .

وسوف تكون الترددات المستقبلة (fr) أعلى من المرسلة في حالة سير السفينة الأمامي بينما تكون الترددات المستقبلة أقل من الترددات المريلة في حالة السير للخلف أما علاقة قيمة الفرق في الدوبلر مع سرعة السفينة فهي كالآتي:

$$fd = \frac{2vft}{c}$$

حيث:

v = سرعة السفينة

c = سرعة انتشار الموجات الصوتية في الماء ١٥٠٠متر /ثانية.

وحيث أننا لا نتوقع وجود عاكس أمام مقدمة السفينة فإنه يتم توجيه الترددات في اتجاه القاع وبزاوية ميل على الخط الطولي للسفينة بزاوية(θ) مقدارها ٦٠ درجة.

وقد وجد أن قيمة هذه الزاوية هي أنسب قيمة في حسابات سرعة السفينة. كما يلاحظ هنا أن شكل القاع ليس له تأثير على الترددات المرتدة الى السفينة مرة أخرى بشرط أنه ليس أملس تماما حيث في هذه الحالة قد لا تنعكس الإشارات مرة أخرى الى مذبذبات الاستقبال.

وعند استخدام مذبذبات مائلة بزاوية مقدارها ٦٠ درجة على المستوى الأفقي فإن فرق الدوبلر تكون قسمته كالآتي:

$$fd = \frac{2vft\left(\cos\theta\right)}{c}$$

وحيث أن (θ) مقدارها ٦٠ درجة، فإن فرق الدوبلر يصبح:

$$fd = \frac{2vf\left(\frac{1}{2}\right)}{c}$$

$$fd = \frac{vft}{c}$$

وبالتالي فإذا اختلفت الزاوية (θ) عن ٦٠ درجة فإنه سينشأ خطأ في قيمة السرعة المحسوبة وقيمة الزاوية (θ) قد تختلف نتيجة لحركة السفينة ودرفلتها الطويلة. وحتى يمكن التغلب على احتمال اختلاف قيمة زاوية الميل عن المستوى الأفقي فإنه يستخدم مذبذبان متماثلان في قيمة الترددات يقوم الأول منها بإرسال تردداته في اتجاه المقدم في حين يقوم المذبذب الثاني بإرسال تردداته في اتجاه المؤخر أي أن:

$$fd = \frac{2vf}{c} x \left[\cos\theta_1 + \cos\theta_2\right]$$

حيث θ_1 وθ_2هما زوايا تثبيت المذبذبات في الاتجاه الأمامي والاتجاه الخلفي وكلاهما (٦٠°) فإذا درفلت السفينة الى أعلى فإن قيمة θ_1 تزداد بنفس قيمة انخفاض قيمة θ_2 للخلف وتكون المحصلة دائما لمجموع $\cos.\theta_1$، و$\cos.\theta_2$ هو الواحد الصحيح، أي أن:

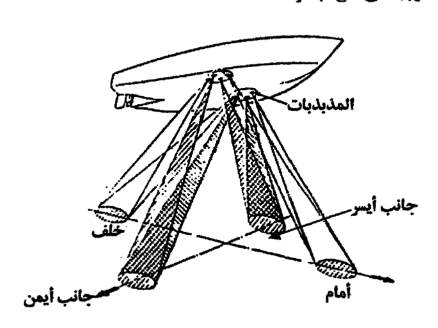
$$fd = \frac{2vft}{c} x 1$$

٩-٤-١ تنظيم جاناس Janus Configuration

يتكون تنظيم جاناس من مجموعة من مذبذبات تبث إشاراتها في اتجاه مقدم واتجاه مؤخر السفينة كما تبث الإشارات أيضا في اتجاه جانب أيمن وجانب أيسر السفينة وقد أطلق هذا الاسم على مجموعة الإرسال نسبة للإله

الروماني الذي يتميز بوجهين متماثلين. ويتميز هذا التنظيم بأنه يمكن تلاشي تأثير الدرفلة الطولية للسفينة حيث أن الزيادة في زاوية الميل (θ) بين مستوى السفينة والمستوى الأفقي في المرسلات الأمامية يقابلها نقص مماثل في زاوية الميل في المرسلات الخلفية وتظل محصلة الزاويتين الأمامية والخلفية ذات قيمة واحدة ومقدارها واحد صحيح. أي أن درفلة السفينة في الاتجاه الطولي أو الاتجاه العرضي لا تؤثر على فرق الدوبلر الذي يتم قياسه في الاتجاه الطولي أو الاتجاه العرضي ويتم قياس السرعة الطولية بحساب فرق الدوبلر من المذبذبات الأمامية والخلفية أما السرعة الجانبية فيتم قياسها بحساب فرق الدوبلر من المذبذبات العرضية جانب أيمن وجانب أيسر السفينة.

وتستخدم المذبذبات الكهربائية (تحصر كهربائي) ذات أحجام صغيرة وبالتالي فإن تردداتها عادة ما تكون ترددات عالية جدا وتثبت في القاع داخل تجويف خاص يسهل الوصول إليه لأغراض الصيانة والإصلاح. ويوضح الشكل (٩-٧) مذبذبات وتنظيم جاناس وشكل الإشعاعات الصوتية الموجهة الى قاع البحر.



شكل (٩-٧): نظام جاناس واتجاه الحزمة الصوتية

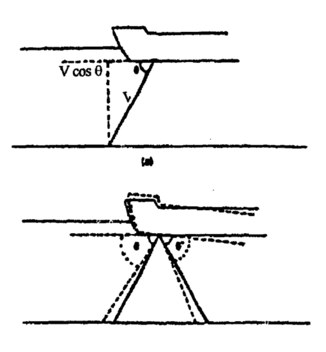
ويوضـح الشـكل (٩-٨) فـى تنظيـم جانـاس (Janus) والذي يتمـيز بـأن لـه وجهان كل منهما عكس الآخر أن قيمة الدوبلر (fd) فـى هـذه الحالـة:

$$fd = \frac{2vft}{c} x \left[\cos\theta + \cos\theta\right]$$

وحيث أن المقدار $(\cos.\theta + \cos.\theta)$ مسـاوياً واحـد صحيـح، فـإن فـرق الدوبلـر يصبح قيمته كـالآتي:

$$fd = \frac{2vft}{c}$$

وبالتـالى يمكـن إهمـال قيمـة زاويـة الميـل فـى هـذه الحالـة حيـث أنـه عنـد درفلـة السفينة فإن إحدى هذه الزوايا تزيد بينما تقـل الأخـرى بنفـس المقـدار وباسـتخدام مذبذبـات جانـاس فـإن الخطـأ الـذي ينشـأ عـن زاويـة الميـل يقـل حتـى ٠,٢٪ مـن قيمـة السـرعة المقاسـة.



شكل (٩-٨): زوايا تثبيت المذبذبات بقاع السفينة

وكما ذكرنا فإنه إذا تم إضافة مذبذبات عمودية على المذبذبات الطويلة أي في الاتجاه العمودى على مقدم السفينة ويتم تركيبه بنفس الزاوية فإنه يمكن قياس حركة السفينة الجانبية.

وفي هذه الحالة يمكن قياس سرعة السفينة بدقة عالية في اتجاه الأمام أو الخلف أو الجانب الأيمن أو الجانب الأيسر، وتعتبر عدادات الدوبلر في غاية الأهمية لقياس سرعة السفن عند سيرها في الأماكن الضيقة أو عند تراكيها على أرصفة الشحن حيث تكون سرعة الاقتراب والتراكى على الرصيف أحد العوامل الهامة لسلامة كل من الرصيف والسفينة.

٩-٤-٣ قياس سرعة السفينة منسوبة لقاع البحر أو الماء

تمتص طاقة الموجات الصوتية المنتشرة في الماء بسبب جزيئات على عمق ٢٠٠-٤٠٠ متر، لذلك يعمل عداد دوبلر فقط حتى عمق ٢٠٠متر تقريبا وإذا استخدمت ترددات منخفضة، قد تصل الأصداء مرتدة من القاع الصخري على أعماق ٦٠٠ متر أو أكثر.

وعموما فإن الشعاع الصوتي يمتص ويتشتت بواسطة الطبقة المائية على عمق ٢٠٠-٤٠٠ متر، هذه الطبقة تسمى الطبقة العميقة المشتتة Deep Scattering Layer (DSL) وعند استقبال الانعكاسات من هذه الطبقة فإن السرعة المقاسة بواسطة عداد دوبلر تكون منسوبة الى هذه الطبقة وليس الى قاع البحر، مما يحدث حالة من عدم التحقق والالتباس.

وبعيدا عن تأثير الطبقة العميقة المشتتة DSL، فإن المياه على عمق ١٠-٣٠ متر أسفل قرينة السفينة تسبب انعكاس صدى الصوت الى المذبذبات وحدوث فارق دوبلر نتيجة تكرار التذبذبات لحيز الماء في هذا العمق المحدود، وذلك يسمى اتصال مائي Water Track. أما في المياه العميقة بالطبع يوجد فارق زمني كبير بين وصول الانعكاسات من قاع البحر والانعكاس من كمية الماء على عمق ١٠-٣٠ متر. يمكن جعل المستقبلات عاملة لفترة زمنية قصيرة (نافذة لوقت محددWindow) إما مباشرة أو بعد فترة قصيرة من الانتهاء من إرسال كل نبضة.

وبفرض أن المستقبل قد حصل على اتصال قاعي Bottom Contact، فإن النافذة تسمح بعمل المستقبل بعد فترة قصيرة من انتهاء الإرسال. فإذا فقد عداد الدوبلر الاتصال القاعي، تحول النافذة أوتوماتيكيا لتسمح للمستقبل بالعمل مباشرة فور انتهاء إرسال النبضة. نتيجة لذلك يستجيب المستقبل فقط للانعكاسات الواردة من طبقة المياه على عمق ١٠-٣٠ متر وعند حدوث ذلك تنطفئ لمبة بيان الاتصال القاعي، وتضئ لمبة بيان خاصة بالاتصال المائي وفى بعض أنواع عدادات دوبلر من الممكن التحول يدويا الى تشغيل باتصال قاعي أو مائي على أعماق أقل من ٦٠٠ متر.

وتعتبر سرعة الصوت فى الماء من أهم العناصر التى تؤثر على سرعة السفينة وحيث أن سرعة الصوت في الماء تتأثر بكل من الملوحة والضغط ودرجة الحرارة فإن أى اختلاف فى هذه القيم عن القيمة القياسية فإنها تؤثر بالتالي علي دقة السرعة المقاسة بواسطة عداد دوبلر.

وفى الأجهزة التي تتطلب معرفة السرعة بدقة عالية فيتم إضافة أجهزة قياس سرعة الانتشار في الماء وكذا مقدار الملوحة وإضافة التصحيحات اللازمة لسرعة الانتشار قبل استخدامها فى قياس سرعة السفينة.

٩-٤-٣ استخدام فرق الطور فى قياس السرعة

تقوم شركة كروب أطلس بإنتاج أجهزة تعمل على معادلة تأثير اختلاف سرعة انتشار الصوت فى الماء واختلاف الملوحة التى تؤثر على هذه السرعة وذلك بتركيب مذبذبات تختلف في مراحل إرسالها بفرق طور ثابت. ويوضح الشكل (٩-٩) طريقة تثبيت مذبذبات كروب أطلس والمسافات البينية بين هذه المذبذبات والتي تتكون من أربعة مذبذبات تثبت في مصفوفة واحدة بحيث تكون المسافات بينهم متساوية وقيمتها (a) فيقوم المذبذب الأول من اتجاه مقدم السفينة بإرسال إشارته يليه المذبذب الثانى والذى يقع خلفه على مسافة (a) وبعد مرور زمن يعادل ١٢٠° من الطور أي ما يعادل ٣/١ من طول الموجة يقوم المذبذب الثالث بإرسال إشارته بعد مرور ٢٤٠° من الطور أي ما يعادل ٣/٢ من طول الموجة وبحيث تكون المسافة في اتجاه الانتشار عند الزاوية (θ) من المستوى

الأفقـي مقدارهـا طـول الموجـة (λ) والمسـافة فـي اتجـاه مقـدم السـفينة المستوى الأفقـي مقدارهـا (3a) ومنـها:

$$\cos\theta = \frac{\lambda}{3a} \quad , \quad \lambda = \frac{c}{ft}$$

$$\therefore \cos\theta = \frac{c}{3aft}$$

وبالتعويض عـن (cos. θ) في معادلـة فـرق الطـور:

$$fd = \frac{2ftv}{c} \text{ x } \cos\theta$$

نحصل على معادلة خالية من سرعة الانتشار c حيث:

$$fd = \frac{2ftv}{c} \text{ x } \frac{c}{3aft}$$

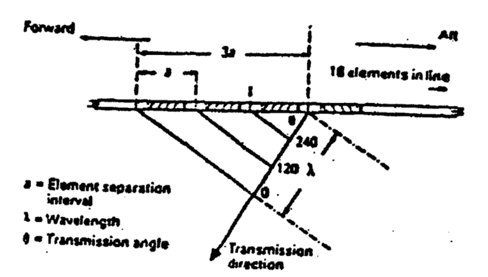
ومنها فإن السرعة تعـادل:

$$v = \frac{3}{2} a\,(fd)$$

حيـث (a) هـي المسـافة بـين المذبذبـات و(fd) هـي فـرق الدوبلـر، وهكـذا فـإن معادلـة السـرعة تكـون غـير متـأثرة بقيمـة سـرعة انتشـار الصـوت فـي المـاء ولا بمقدار درفلـة السـفينة الطوليـة.

أي أن السـرعة المناسـبة تعـادل ٣/٢ مـن قيمـة فـرق الدوبلـر بـين الـترددات المرسـلة والمسـتقبلة.

ويمكــن اسـتخدام أجـهزة إرسـال مسـتمر (CW) أو اسـتخدام أجـهزة إرسـال علـى شـكل نبضـات (PM). وفـي الحالـة الأولى فإنـه يسـتخدم مذبذبـات مـن مجموعـة جـانس Janus وأحـد هـذه المذبذبـات يكـون للإرسـال فـي حـين يسـتخدم الآخـر للاسـتقبال بصفـة مسـتمرة ويتـم الاسـتقبال إمـا مـن الـترددات المرتـدة مـن قـاع البحـر أو مـن التيـار المـائي إذا كـان العمـق كبـيرا ويزيـد عـن ٣٠٠ متر غير أنـه إذا كـان مقـدار الطاقـة التـي تحتويـها الموجـات ليسـت كافيـة للانتشار إلى أعماق كبيرة ففي هذه الحالة ترتد الموجـات مـن أعمـاق تـتراوح بين ١٢ متر إلى ٢٠٠ متر وتتوقف على قـوة الإشـارة وعلـى مقـدار الانكسـار فـي مسـار الإشـارات.



شكل (٩-٩): تأثير الاختلاف الزاوي لطور الإرسال (كروب أطلس)

ومن أكثر مشاكل الإرسال المستمر (cw) هو استقبال الإشارات المبعثرة نتيجة لانكسارات الترددات أثناء انتشارها للقاع وبالتالي قد يحدث تشويش على أجهزة قياس السرعة وقد يحدث أن يقوم مذبذب الاستقبال باستلام الترددات الخارجة من المذبذب المرسل مباشرة وتكون في هذه الحالة كل الترددات متساوية فيقوم الجهاز بحساب سرعة السفينة على أنها = صفر.

أما أجهزة إرسال النبضة (Pulse-System) فإنها تستخدم للتغلب على مشكلة الإرسال المستمر، وهي تماثل تماما حالة المذبذبات في أجهزة قياس العمق حيث تقوم المذبذبات بإرسال الإشارة أو الترددات ثم تتوقف لفترة طويلة نسبيا بحيث تسمح بوصول الترددات المرتدة من القاع على أعماق كبيرة قبل أن ترسل مرة أخرى.

وفي هذه الحالة تستخدم مذبذبات ذات طاقة عالية ومركزة في فترة إرسال النبضة ويستخدم نفس المذبذب في إرسال واستقبال الترددات بالإضافة إلى أن نظام النبضات أكثر فاعلية في التغلب على الترددات المبعثرة حيث يستخدم نصف عدد المذبذبات المطلوبة ويستخدم نفس المذبذبات في كل من الإرسال والاستقبال. ومن أهم مميزات النظام النبضي أيضا أنه يمكن استخدامه حتى أعماق كبيرة تصل إلى ٣٠٠ متر والتي تتوقف بالطبع

على مقدار الطاقة وطول الموجة المستخدمة فى حين أن الإرسال المستمر قد يتميز عن الإرسال النبضى فى الاستخدام فى الأعماق الصغيرة حيث أن النظام النبضى يكون متأثرا بمعدل الإرسال (PRR).

ويستخدم عداد دوبلر عالميا لملاحة الناقلات الضخمة، وتظهر أهميته الفائقة لهذا النوع من السفن خصوصا أثناء إبحارها بجوار الساحل أو عند رباطها على رصيف أو عوامة، إذ يصعب على ربابنة تلك السفن أو القائمين بإرشادها تقدير السرعة الفعلية بالخبرة، وذلك حتى لا تحدث أضرار نتيجة لسوء التقدير. ويستفاد بعداد دوبلر لبيان سرعة السفينة للأمام أو الخلف بدقة تصل إلى ٠,٠١ عقدة (٥ مم/ثانية)، كما يبين العداد السرعة العرضية فى مقدم ومؤخرة السفينة. ولذلك زودت أجناب الممشى بمكررات لهذا العداد علاوة على وحدة البيان الرئيسية الموجودة داخل الممشى.

عند الاقتراب من بعض الموانئ تحدد السلطات سرعات محددة للاقتراب ويجب وجود عداد دوبلر للحصول على أدق البيانات المتعلقة بالسرعة.

ويمكن استخدام عدادات دوبلر فى قياس معدل دوران السفينة وذلك بتركيب مجموعة جاناس فى مقدم السفينة ومجموعة أخرى فى مؤخر السفينة، ويبين الاختلاف بين الحركة الجانبية لمقدم السفينة والحركة الجانبية لمؤخر السفينة مقدار الدوران أو معدل دوران السفينة والذى يكون عنصرا هاما عند الاقتراب من الأرصفة بالإضافة إلى قياسها للسرعة الفعلية فوق الأرض (Over the Ground) وخاصة فى الأعماق التى تقل عن ٢٠٠ متر، أما إذا زادت الأعماق عن ذلك فإنه من المحتمل أن ترتد المذبذبات الصوتية من الكتل المائية العميقة وبالتالى فإن السرعة تكون سرعة نسبية وليست سرعة حقيقية.

٩-٥ مساعدات التراكى على الأرصفة Berthing Systems

يوجد عدد من الأجهزة والمساعدات الملاحية الإلكترونية التى توفر المعلومات التى يتطلبها الملاح للمساعدة على تأمين اقتراب السفينة من الممرات الملاحية وتسهيل أعمال مناورات السفينة قبل رباطها على الرصيف من هذه الأجهزة. عدادات قياس السرعة الدقيقة سواء باستخدام نظام

الدوبلر أو النظام الكهرومغناطيسي وأيضا أجهزة قياس العمق والتي تم استعراضها في الفصل السابق من هذا الباب.

غير أن حركة السفن بالنسبة للأرصفة قد شكلت في أحيان كثيرة صعوبة خاصة بالنسبة للسفن العملاقة ذات الأحجام والحمولات العملاقة عند تراكيها على أرصفة الشحن، فقد أصبح من المهم معرفة سرعة اقتراب هذه النوعيات من السفن من الأرصفة حتى يمكن تحديد أقصى قيمة لطاقة التصادم أو طاقة الاقتراب والتي يجب ألا تتعدى الأحمال المصمم عليها أرصفة التراكي. وبهدف حماية كل من الرصيف والسفينة من الزيادة في طاقة الحركة الناتجة عن السرعة الزائدة من اقتراب السفينة، وجب تجهيز بعض هذه الأرصفة أو السفن نفسها بأجهزة المساعدة على التراكي والتي سنتناولها في السطور القادمة.

٩-٥-١ أنظمة السونار المثبتة على الرصيف

في هذه الأنظمة يتم تجهيز طرفي الرصيف بجهاز سونار يتكون من مذبذبات صوتية تحت خط الماء وعلى عمق يتراوح بين ٣-٥ متر، ويثبت المذبذب في اتجاه البحر أي في الاتجاه الذي تقترب منه السفينة بحيث يوجهه المذبذب الأول في اتجاه مقدم السفينة والمذبذب الثاني في اتجاه مؤخر السفينة، ويقوم كل مذبذب بإرسال ترددات عالية حوالي ١٠٠ ك.هرتز مشابهة لتلك الترددات التي تطلقها أجهزة قياس السرعة بنظام الدوبلر وبعرض حزمة تعادل ١٠°-٢٠° درجة. ثم يقوم الجهاز بقياس الترددات المرتدة من السفينة التي في مواجهة الرصيف، وبمعرفة الفرق بين الترددات المرسلة والترددات المستقبلة وهو ما يعرف بفرق الدوبلر (fd)، فإنه يمكن قياس سرعة اقتراب السفينة من الرصيف حيث أن السرعة تتناسب طرديا مع فرق الدوبلر.

$$fd = \frac{2vft}{c}$$

ومنها:

$$v \alpha fd$$

حيث (v) سرعة السفينة، (fd) فرق الترددات المرسلة والمستقبلة، (f) الترددات المرسلة و(c) سرعة الانتشار.

وبحساب فرق الدوبلر لكل من المذبذب الموجه إلى مقدم السفينة والمذبذب الموجه إلى مؤخرها يمكن حساب سرعة السفينة ومعدل دورانها على النحو التالي:

أ- إذا كنت كل من السرعتين متساويتين في مقدم ومؤخر الرصيف فإن ذلك يدل على تراكي السفينة بالتوازى على الرصيف.

ب- إذا اختلفت السرعة المقاسة من مذبذب المقدم عن مذبذب المؤخر فإن ذلك يدل على أن السفينة تكتسب عزم دوران في مواجهة الرصيف.

ومن المعلومات التي نحصل عليها عن سرعة السفينة في مواجهة الرصيف والتي تكون دقيقة فإنه يمكن تحديد السرعة الآمنة المطلوبة والتي يتحملها هيكل الرصيف كما يمكن تحذير السفينة عن اكتسابها عزم دوران غير مرغوب أثناء الاقتراب. كما يمكن نقل هذه المعلومات من الرصيف إلى قيادة السفينة إما عن طريق الاتصال اللاسلكي أو لوحات مضيئة على طرفي الرصيف تحدد سرعة مقدم ومؤخر السفينة. وعلى الرغم من أن هذا النظام يوفر دقة عالية في تحديد السرعة ومعدل الدوران والمسافة إلا أنه محدود بالمدى الذي يعمل عليه والذي يكون في حدود ٢٠٠ متر وأيضا بتأثره بتداخلات الموجات الفوق صوتية في الماء في منطقة المناورة.

٩-٥-٣ أنظمة دوبلر الرادار Radar Doppler Systems

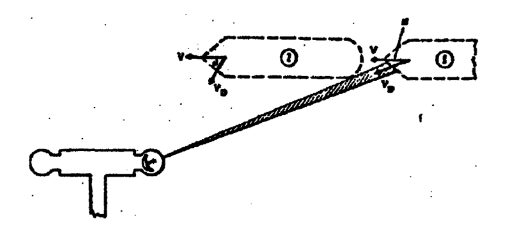
أنظمة دوبلر للموجات القصيرة تستخدم قياس فرق الدوبلر لإشارة الموجة المرتدة من السفينة المتحركة وذلك لتحديد السرعة النسبية بين مصدر الإرسال والسفينة المتحركة. مصدر الإرسال للموجات القصيرة يثبت على الرصيف وفوق مستوى سطح الماء بمسافة كافية. ويوضح الشكل (٩-١٠) هوائي الرادار ومكان تثبيته. وبعض الأنظمة تستخدم نطاق الترددات المستخدم بالرادار البحري والبعض يستخدم حيز ترددات من ٨,٢ إلى ١٢,٤ جيجا هرتز. ولكن في السنوات الأخيرة انحصر الاستخدام في حدود

نطاق ١٤ جيجا هرتز. ويتحقق أقصى مدى للتشغيل بتركيز الطاقة المرسلة في شعاع ضيق باستخدام هوائي ذو عاكس قطع مكافئ Parabolic ومدى الاستخدام الفعلي يعتمد على عدة عوامل منها مساحة السطح العاكس، شكل السفينة المقتربة، حالة البحر واستقرار مصدر الموجات القصيرة في أحسن الظروف يكون أقصى مدى لسفينة كبيرة في حدود ١-٢ ميل. ولاستغلال إمكانيات النظام على أقصى مدى يجب الإبقاء على شعاع الإرسال على السفينة موجها على السفينة المقتربة وتنقل قراءات السرعة المستخرجة إلى السفينة عن طريق الاتصال اللاسلكي.

وأثناء المرحلة النهائية للرباط يجب مراعاة أن السرعة المقاسة المطلوبة ليست فقط التي تمثل مركبة سرعة السفينة للأمام فقط، ولكن عادة تؤخذ قياسات لحركة السفينة العرضية عند مقدم ومؤخر السفينة كل على حدة، وذلك باستخدام جهازين بدلا من جهاز واحد وبذلك يمكن قياس سرعة الاقتراب ومعدل دوران السفينة إذا نشأ لها عزم دوران.

في حالات كثيرة يجب تعيين أفراد مدربين على الجهاز لنقل معلومات السرعة والدوران إلى السفينة المقتربة بواسطة الاتصال اللاسلكي، ولكن في حالات أخرى تستخدم شاشة رقمية كبيرة تبين السرعة المقاسة، وتثبت هذه الشاشة على الرصيف في مكان بحيث يمكن رؤيتها من ممشى السفينة المقتربة.

نظام دوبلر للموجات القصيرة لا يتأثر بالعوامل المتداخلة والمؤثرة على أداء أنظمة السونار مثل رفاصات السفن القريبة، غير أن القراءات المستخرجة قد تتأثر بإشارات الراديو القريبة منها ومن الإشارات المرتدة أو المنعكسة من الأجسام القريبة من مكان السفينة.



شكل (٩-١٠): رادار الدوبلر لقياس سرعة اقتراب السفن من الأرصفة

وقياس المسافة أو السرعة يتعرض لمؤثرات وعوامل تؤثر على كفاءة ودقة قياس المسافة لأن الإشارات المرتدة من السفينة المقتربة تكون محصلة الانعكاسات علاوة على الآثار السلبية الناشئة عن تعدد مسارات الإشارة وتأثير الحزم الجانبية للهوائى Antenna Side Lobes، كما يمكن تركيب مثل هذه الأجهزة سواء دوبلر سونار المائي أو دوبلر الرادار الهوائى على السفينة ولكن يراعى توجيه المذبذبات أو الهوائيات في اتجاه الرصيف. ويمكن نقل المعلومات الخاصة بحركة وسرعة ومعدل دوران السفينة إلى قائد الميناء لتحديد ما إذا كانت سرعة اقتراب السفينة من الرصيف في حدود الأمان وبقوة يتحملها الرصيف ومن ثم يقوم بتوجيه ملاحظاته على مناورة الاقتراب بالتعديل إذا تطلب الأمر ذلك.

٩-٦ أجهزة بيان معدل الدوران Rate of Turn Indicator

تتطلب المناورة الآمنة للسفن ذات الحمولات الكبيرة في البحر المفتوح أو عند الاقتراب من الممرات الملاحية المحددة درجة عالية من المهارة ومعرفة عميقة بخصائص مناورة السفينة، وبالطبع فمهما بلغت معرفة ومهارة الملاح الموجود بالممشى فإن ذلك لا يعني الاستغناء عن المعلومات الواردة من الأجهزة الملاحية المختلفة ومن أجهزة التوجيه المتعددة

بالسفينة للوصول في النهاية إلى القرار الصحيح الواجب اتخاذه بغرض إجراء مناورة آمنة للسفينة.

وتنص تعليمات الملاحة على تزويد السفن الكبيرة بمبينات الدوران عند استخدام الرادار في أي عمليات ملاحية أو مناورات تراكي السفن والتي يمكن معرفتها بسهولة من جهاز معدل الدوران. أما أثناء المناورات الحرجة ومثال لذلك دخول الحوض الجاف أو العائم حيث يتطلب الأمر التحكم في حركة السفينة بدقة ومهارة خصوصا تلك السفن التي لها قصور ذاتي كبير والتي لها زمن استجابة كبير عند تحريك الدفة، فإن إجراء تعديل لبعض الخطأ في مناورة السفينة يمثل عبئا ضخما محفوفا بالأخطار، ولا توفر البوصلة الحقيقية تنبؤا جيدا عن معدل دوران السفينة.

ويتكون معدل الدوران من عجلة جيروسكوبية مركبة على حلقة اتزان مثبت بها محور دوران العجلة وكذلك المستوى الأفقي المثبت أيضا ببدن السفينة وتثبت العجلة والحلقة بحيث لا تدور حول المحور الرأسي وبالتالي فإن محور دوران العجلة يمكنه الميل Telt حول المحور الأفقي ولكنه لا يستطيع الانحراف Drift حول المحور الرأسي ويثبت بأحد أركان الحلقة بواسطة زنبرك (ياي) كما أن هناك مؤشر مثبت بالركن التالي له ويتحرك على تدريج مثبت أمامه.

وعند دوران السفينة حول المحور الراسي فإن محور الدوران الخاص بالعجلة سيدور مع السفينة في المستوى الأفقي مغيرا اتجاهه مما يجعله يميل حول المحور الفقي في المستوى الراسي بنفس معدل الدوران الذي تدور به السفينة.

كما أن عزم الدوران Torque الذي يثبت الياي في المستوى الرأسي نتيجة ميل الحلقة سوف يتناسب طرديا مع درجة ميل محور الدوران ومع معدل دوران السفينة وكذلك مقدار انحراف المؤشر على التدريج الخاص به والذي يبين هذا الميل.

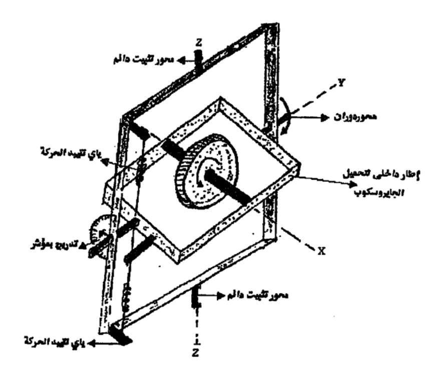
وعند دوران السفينة إلى جهة اليمين مثلا ينشأ ازدواج في اتجاه عقارب الساعة في المستوى الفقي على حلقة الاتزان وبالتالي على محور الدوران

فيميل الجزء الأيمن لمحور الدوران إلى أعلى في المستوى الرأسي ويتحرك المؤشر إلى أعلى على التدريج الخاص به بمقدار يتناسب طرديا مع معدل دوران السفينة. فمن المعروف أن مقدار ميل محور الدوران يتناسب طرديا مع الازدواج المؤثر في حالة دوران عجلة الجيروسكوب بسرعة منتظمة.

وعند درجة ميل معينة لمحور دوران الجيروسكوب والمؤشر سوف يتساوى كل من الازدواج الناشئ عن الزنبرك وعن المبادرة وبالتالي سيتوقف ميل محور الدوران ويثبت المؤشر عند مقدار معين على التدريج يحدد معدل الدوران الذي تدور به السفينة وسوف يتناسب مع مقدار انحراف المؤشر على التدريج لأن كل من معدل الدوران ومقدار انحراف المؤشر يتناسبان مع الازدواجين المتساويين وبالتالي فإن مقدار انحراف المؤشر على التدريج الخاص به يمكن معايرته أو تقسيمه إلى عدد من درجات الدوران في الدقيقة.

ويتميز استخدام مبين معدل الدوران بالآتي:

- يستخدم في حالات الملاحة في الممرات الضيقة نظرا لأنه يساعد في إجراء مناورات دقيقة.
- يمكن توصيله بالرادارات والأربا لإعطاء نتائج أفضل بالنسبة لأقرب حالة مرور للسفن (CPA) بدقة عالية.
- تحسين أداء الدومان الأتوماتيكي (Autopilot).
- تحسين مناورات التراكي على الأرصفة.
- يساعد عند السير بسرعة بطيئة حيث يعطي بيان لمعدل دوران السفينة ومقدار تجاوب الدفة.



شكل (٩-١١): مبين معدل الدوران



الفصل العاشر

تحديد الاتجاه اللاسلكي والخرائط الإلكترونية والتكامل الملاحي

Direction Finder by Radio, Electronic Charts and Integrated Navigation System

١٠- تحديد الاتجاه اللاسلكي والخرائط الإلكترونية والتكامل الملاحي

١٠-١ محدد الاتجاه اللاسلكي Radio Direction Finder

١٠-١-١ الوصف العام

يعتبر تحديد الاتجاه اللاسلكي في البحار من أقدم الأنظمة الملاحية والتي مازالت تستخدم حتى الآن، ويستخدم بكفاءة في تحديد الموقع في الملاحة الساحلية.

وينفرد محدد الاتجاه اللاسلكي من بين العديد من أنظمة الملاحة بأنه يسمح للسفينة الراصدة أن تحدد اتجاه محطة الإرسال التي قد تكون محطة إرسال ساحلية أو سفينة في حالة استغاثة تقوم ببث إشاراتها اللاسلكية وعندئذ تتمكن السفن المحيطة بها من تحديد اتجاهاتها من أماكن مختلفة وبالتالي تستطيع تحديد موقعها. ولقد ساعد وجود أجهزة تحديد الاتجاه الأوتوماتيكية على تسهيل تحديد محطات الإرسال سواء كانت ساحلية أو سفن في حالة استغاثة وتبث إشاراتها على تردد الاستغاثة الدولي ٥٠٠ ك.هرتز.

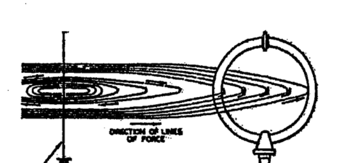
١٠-١-٢ الهوائي الإطاري

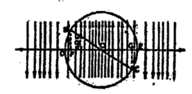
الهوائي الإطارى هو موصل منحنى مغلق قد يأخذ الشكل الدائري أو شكل المستطيل أو شكل المثلث. ومن المعروف في خصائص إنتشار الموجات الكهرومغناطيسية أنه عندما تمر خطوط المجال المغناطيسي خلال ملف توصيل بهذا الشكل فإنه ينشأ عند طرفي الملف تيار كهربائي متغير ويسمى التيار الحثي. فعندما تقوم محطات الإرسال بإرسال موجاتها الكهرومغناطيسية فإنها تنتشر في الهواء ويتم استقبالها بواسطة الهوائيات الإطارية القادرة على تحديد اتجاه المحطة المرسلة. ويمكن للهوائي الإطارى المبدئي أن يدور حول محور رأسي وبذلك يمكن تعيين اتجاه الإرسال.

وعندما يوضع مستوى الهوائي الإطاري في مستوى مجال الإرسال التابع فإن خطوط المجال المغناطيسي تمر خلال لفات السلك الموصل ويتكون بذلك تيار متغير على طرفي الهوائي الإطاري ويكون التيار المتولد في الهوائي أكبر ما يمكن عندما يكون مستوى الهوائي في اتجاه محطة الإرسال ويكون الاتجاه مساوياً للصفر وفي هذه الحالة فإن أقصى عدد من خطوط المجال تمر خلال حيز الهوائي شكل (١٠-١) فإذا وصل طرفي الهوائي الى جهاز استقبال راديو لتحويل الإشارة اللاسلكية الى إشارة راديو مسموعة فإن أقوى إشارة من محطة الإرسال سوف يمكن سماعها عندما يكون مستوى الهوائي في اتجاه محطة الإرسال وإذا أدير الهوائي حول المحور الرأسي بمقدار ربع لفة أي ٩٠ درجة فإنه في هذه الحالة تكون خطوط المجال التي تمر خلال الملف تكون مساوية للصفر وبالتالي لا يمر تيار متغير عند طرفي الملف وتكون شدة الإشارة التي تصدرها محطة الإرسال غير مسموعة.

وعندما يدور الهوائي ربع دائرة أخرى فإن أقصى قدر من خطوط المجال سوف تمر مرة أخرى خلال الهوائي وبالتالي فإن إشارة محطة الإرسال سوف تكون مسموعة وقوية مرة أخرى.

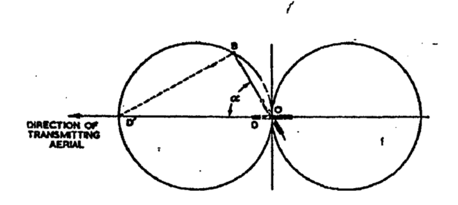
وأثناء دورة كاملة للهوائي الإطاري حول محوره الرأسي فإن الإشارة التي تصدرها محطة الإرسال سوف تسمع بوضوح وتكون قوية مرتان عندما يكون مستوى الهوائي في نفس اتجاه المحطة أو في عكس اتجاهها أي عندما تكون الزاوية θ صفر أو ١٨٠ درجة وتكون الإشارة أقل ما يمكن وغير مسموعة عندما تكون الزاوية θ مساوية ٩٠ درجة و٢٧٠ درجة.





شكل (١٠-١): خطوط المجال الكهرومغناطيسية في الهوائي الإطاري

ويوضح الشكل رقم (١٠-١) قيمة التيار المتغير الذي ينشأ من الأوضاع المختلفة للهوائي من محطة الإرسال ويسمى بالشكل القطبي (Polar Diagram) فإذا دار الهوائي الإطاري زاوية مقدارها θ فإن فرق الجهد يتغير بعلاقة جيب التمام ولأن قيمة فرق الجهد تزداد مرة أخرى عندما تزيد الزاوية عن ٩٠ درجة فإن دائرة أخرى تتكون بنفس المواصفات ويطلق على الشكل النهائي بشكل (∞) أو رقم ٨ بالإنجليزية وحتى يمكن تحديد اتجاه محطة الإرسال فإن الهوائي يمكنه الاستدارة الى الموضع الذي تحصل فيه على أعلى قيمة للإشارة التي ترسلها محطة الإرسال ويكون اتجاه محطة الإرسال هو امتداد مستوى الهوائي.



شكل (١٠-٢): الشكل الثماني القطبي

ويمكن أيضاً إدارة الهوائية بحيث تنخفض الإشارة وتصبح غير مسموعة على الإطلاق وفي هذه الحالة فإن اتجاه محطة الإرسال تكون عمودية على مستوى الهواء.

وعملياً فإن الهواء الإطاري يتم إدارته لتحديد إتجاه محطة الإرسال عندما تكون قوة الإشارة أقل ما يمكن وتستخدم هذه الطريقة حيث يكون معدل التغير في قوة الإشارة الى معدل التغير في زاوية الدوران أكبر ما يمكن وبالتالي يمكن تحديد اتجاه المحطة بدقة أكبر في الموضع الذي يكون عنده مستوى الهواء عمودي على اتجاه المحطة في حين أن تحديد اتجاه المحطة في حالة أقصى قيمة للإشارة فإن معدل التغير يكون صغيراً ويصعب تحديد الاتجاه الدقيق للمحطة.

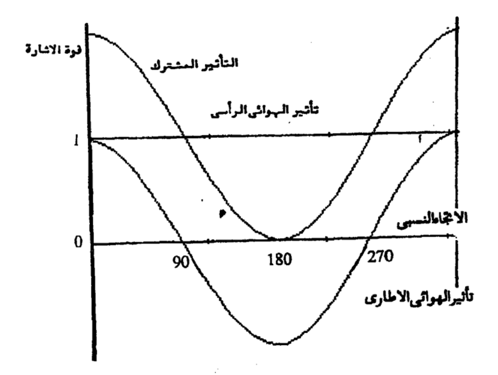
ويتضح من استخدام الهوائي الإطاري بمفرده أن اتجاه المحطة الحقيقي يشوبه الغموض حيث يكون دائماً اتجاهان خلال الدائرة الكاملة التي يكون عندها قوة الإشارة أقل ما يمكن ويكون الفرق بينهما ١٨٠ درجة لذلك فإنه يلزم إضافة هوائي خاص في الاتجاه الرأسي للمساعدة على تحديد الاتجاه الصحيح للمحطة المرسلة.

ويتكون الهوائي الرأسي ويصمم بحيث تكون قوة استقباله متساوية من جميع الجهات بغض النظر عن اتجاه المحطة من السفينة أي أنه يرسم شكل

قطبي له نصف قطر متساوياً مع أقصى قيمة يحصل عليها الهوائي الإطاري عندما يكون في مستوى اتجاه المحطة.

ويوضح الشكل (١٠-٣) علاقة كل من الهوائي الرأسي والهوائي الإطاري في تحديد قيمة الإشارة. ويتضح أن بإدارة الهوائي الإطاري بمفرده فإن الإشارة المسموعة تتبع منحنى جيب التمام (Cos. θ) وتكون أكبر ما يمكن وفي الوضع عندما تكون زاوية الاتجاه مساوية للصفر وتكون أصغر ما يمكن في الوضعين ٩٠ درجة، ٢٧٠ درجة أي أن هناك اتجاهين يكون عندهما قيمة الإشارة أقل ما يمكن. وإذا تتبعنا تأثير الهوائي الرأسي بمفرده فنجد أن الإشارة تكون ثابتة على طول الخط الذي يمثل الاتجاه (θ) وتكون قيمة الإشارة مساوية لأقصى قيمة لإشارة الهوائي الإطاري في الوضع عندما تكون (θ) = صفر.

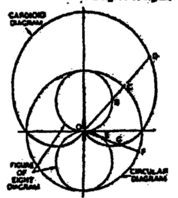
وإذا تم تشغيل كل من الهوائي الإطاري والهوائي الرأسي سوياً فإن التأثير المشترك لكلا الهوائيات سيتبع المنحنى العلوى والذي تكون فيه الإشارة أكبر ما يمكن عندما تكون (θ) = صفر وأقل ما يمكن عندما تكون (θ) = ١٨٠ درجة ويلاحظ على التأثير المشترك أنه توجد قيمة صغرى واحدة فقط خلال الدورة الكاملة التي تكون فيها الزاوية ١٨٠ ويلاحظ أن هذا الاتجاه يكون عمودي على الاتجاه الذي يقيس فيه الهوائي الإطاري مقدار القيمة الصغرى لمحطة الإرسال.



شكل (١٠-٣): منحنيات الهوائي الرأسي والإطاري

ويمكن التعبير عن هذه العلاقة بالشكل (١٠-٤) وهو يسمى بالشكل الكارديود أو المتحنى القلبي Cardiod ويلاحظ فيه الدائرة الكبيرة والتى تمثل تأثير الهوائى الرأسى والدائرتين الصغيرتين تمثلان تأثير الهوائى الإطارى ثم المنحنى القلبى الذى يمثل التأثير المشترك، ويتضح من الرسم أن الشكل القلبي له اتجاه واحد تكون الإشارة عندها أقل ما يمكن.

Simultaneous reception via both aerials thus gives a diagram that is the sum of a circle and a figure-of-eight.

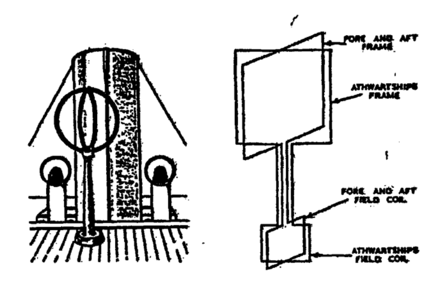


شكل (١٠-٤): الشكل القلبى الناتج عن التأثير الرأسى والإطارى

١٠-١-٣ الهوائى الإطارى المتعامد

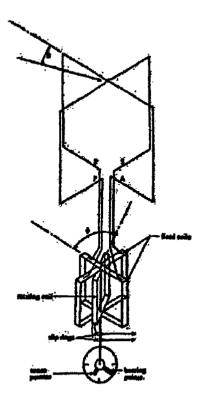
توجد صعوبات عديدة فى استخدام الهوائى الإطارى الدوار حيث يجب تثبيت الهوائى فى مكان أعلى تدريج الاتجاه المطلوب استخدامه فى غرفة القيادة أو غرفة الخرائط، وقد يكون من غير المناسب فى كثير من الأحيان الاعتماد على تدوير الهوائى يدوياً لتحديد الاتجاه الدقيق لمحطة الإرسال. لذلك فقد تم استخدام نظام الهوائيات المتعامدة الذى يسمى بللينى توسى (شكل ١٠-٥). ويتكون نظام الهوائى الإطارى المتعامد من هوائيين إطاريين متعامدين أحدهما فى اتجاه مقدم مؤخر السفينة والثانى عرضى والزاوية بينهما ٩٠ درجة، فإذا كان اتجاه المحطة المرسلة على اتجاه ٤٥ درجة نسبى من مقدم السفينة فإن التيار المتولد على كل من الهوائيين سيكون متساوياً حيث أن كل من الملفين يكونان متماثلين.

وتتولد إشارة فرق جهد تتناسب مع جيب تمام زاوية الاتجاه ($E\cos.\theta$) فى الهوائى الطولى وفرق جهد يتناسب مع جيب الاتجاه ($E\sin.\theta$) فى الهوائى العرضى. وبالتالى فإن اتجاه محطة الإرسال (θ) من السفينة يمكن إيجاده بتحليل فرقي الجهد فى كلا الهوائيين المتعامدين.



شكل (١٠-٥): الهوائى الإطارى المتعامد

وينشأ عن مرور المجال المغناطيسى فى الملفات المتعامدة تيار حثى متغير ينتقل من الملفات المتعامدة فوق سطح السفينة إلي ملفات متعامدة صغيرة ثابتة وفى نفس اتجاهات الملفات الرئيسية أي فى مستوى الخط الطولى المنصف للسفينة والمستوى العرضى للسفينة. وينتج عن مرور التيار الحثى فى الملفات الداخلية مجال مغناطيسى متغير، وتسمى الملفات الداخلية بملفات المجال وتكون شدة المجال المتولدة في ملفات المجال متناسبة مع شدة التيار الحثى المتولد عن الهوائى الإطارى المتعامد فوق السطح وبذلك يمكن نقل التأثير المطلوب من الهوائيات المتعامدة فوق سطح السفينة إلى هوائيات أصغر حجما داخل جهاز الاستقبال بغرفة القيادة (شكل ١٠-٦). وإذا تحرك اتجاه المحطة المرسلة سواء في اتجاه الهوائى الطولى أو الهوائى العرضى أو فى أي اتجاه بينهما فإن محصلة شدة الإشارة ستكون فى مكان بين الاتجاه الطولي للسفينة والاتجاه العرضي لها.



شكل (١٠-٦): الهوائي المتعامد والجونيوميتر

١٠-١-٤ الجونيوميتر Geniometer

يتكـون الجونيوميـتر مـن ملفـات المجـال وملـف البحـث، وتتكـون ملفـات المجـال مـن ملفـين متعـامدين يوضعـان فـى نفـس المستوى الـذى توضـع فيـه الهوائيات الإطارية المتعامدة علـى سـطح السـفينة. وتعمـل هـذه الملفات علـى إظـهار نفـس المجـالات التـى تتولـد علـى الملفـات الخارجيـة المتعـامدة. وبالإضافة إلى ذلك يشتمل الجونيوميتر على ملـف ثـالث يـدور حـول محـوره الرأسـى أو حـول نفسـه داخـل ملفـات المجـال، ويسـمى الملـف الأخير بملـف البحـث وهـو الـذى ينشأ عليـه فـرق جـهد يتناسـب مـع المجـال المغناطيسـى المتولـد داخـل ملفـات المجـال ويعـادل محصلـة الإشـارة التـى تصـل إلى السفينة. ويقوم ملف البحث مقام عمل الهوائـى الإطـارى الـدوار حيـث تكـون قيمـة فـرق الجـهد المتولـدة بـه صفرا أو أقـل مـا يمكـن عندمـا يكـون مسـتوى ملـف البحـث عموديـا علـى اتجـاه المحطـة المرسـلة وبالتـالى فـإن مؤشـر

الجونيوميتر والذى يثبت عموديا علـى مستوى ملـف البحـث يشير حينئـذ إلى اتجـاه المحطـة وتكـون الزاويـة بـين مؤشـر الجونيومـيـتر ومقـدم السـفينة هـي زاويـة اتجـاه محطـة الإرسـال.

١٠-١-٥ الأخطاء وأسبابها

أولا: الخطأ الناشئ عن بدن السفينة (الانحراف)

هـو خطـأ ناشـئ عـن الإشـارات المرتـدة أو المنعكسـة مـن بـدن السـفينة والإنشـاءات المعدنيـة بـها ويتكـون عليـها تيـار حثـي متغير وهـو يؤثـر بدوره على قيمـة التيـار المتولـد علـى الهوائـى الإطـارى لجـهاز تحديـد الاتجـاه، فعندمـا تصـل الموجـات الكهرومغناطيسـية القادمـة مـن محطـة الإرسـال وتسـقط علـى صـوارى السـفينة والمدخنـة ومـا بالسـطح مـن أسلاك وهوائيـات فإنـه يتكـون مجـالا مغناطيسيا ثانويـا يؤثـر علـى الهوائـي الإطـارى الـذى تصلـه إشـارة مباشرة مـن محطـة الإرسـال وأيضـا إشـارات ثانويـة مرتـدة أو منعكسـة مـن الإنشـاءات المحيطـة بـالهوائي وتكـون هـذه الإشـارات الضعيفـة المرتـدة مـن البـدن خارجـة عـن طـور الإشـارات الأساسية فيسبب ذلـك عـدم وضـوح للقيمـة الصغـر للإشـارة وبالتـالى ينتـج عنها خطـأ فـى تحديـد الاتجـاه ويكـون مـن الصعـب تحديـد مقـدار النهايـة الصغرى للإشـارة.

ويمكـن تحليـل قيمـة الخطـأ الناشـئ عـن المنشـآت المحيطـة بالسـفينة إلي مركبتين أساسيتين الأولي منـهما ويعـبر عنـها بالخطـأ الربعـي والثانيـة بالخطـأ النصفـي.

أ- الخطأ الربعي **Quadrantal Error**

سمي الخطـأ الربعي بهذا الاسم لأن أقصـى قيمـة لـه عنـد رصـد الاتجـاه تظـهر عندمـا يكـون الاتجـاه النسـبى للمحطـة ٤٥-١٣٥-٢١٥-٣١٥ وتكـون قيمـة الخطـأ صفـرا عندمـا يكـون الاتجـاه النسـبي صفـر-٩٠-١٨٠-٢٧٠ وهـذا يصـور لنـا منحنـي جيبـي.

وينشأ هذا الخطأ من الإشارة المرتدة من الإنشاءات القريبة من الخط الطولي مثل الإنشاءات العلوية وجميع الأجزاء المعدنية التي تستقبل الموجات الكهرومغناطيسية وتعكس جزءا منها إلى موقع الهوائي.

وحيث أن كل من الإشارة الأساسية والإشارة المرتدة من إنشاءات السفينة تحمل على نفس التردد ولكنها مختلفة في الطور الزاوي، فإنه ينشأ خطأ في زاوية الاتجاه يتناسب مع قوة واتجاه الإشارة المرتدة من الإنشاءات وعلى موقع الجسم العاكس من الهوائي وعلى السطح الحر من بدن السفينة، فإذا كان الهوائي مثبتا في مؤخر السفينة فإن الخطأ على الاتجاهات الأمامية يكون أكبر من قيمة الخطأ على الاتجاهات الخلفية وبالعكس فإذا كان الهوائي مثبت في الجزء الأمامي من السفينة فإن قيمة الخطأ في الاتجاهات الربعية الخلفية ١٣٥–٢٢٥ سيكون أكبر من الخطأ على الاتجاهات الربعية الأمامية ٤٥–٣٢٥. ومن حسن الحظ فإن قيمة الخطأ تكون ثابتة بالنسبة لموقع الهوائي ولذلك يمكن معايرتها بصفة دورية وملاشاة هذا الخطأ ويمكن أيضا وضع ملف تصحيح الخطأ الربعي بجوار الجيونوميتر ليعمل على ملاشاة الخطأ الربعي.

ب- الخطأ النصفي Semi-Circular Error

سمي الخطأ النصفي بهذا الاسم لأن قيمة الخطأ الناشئ عنه يكون أكبر ما يمكن عندما يكون الاتجاه النسبي للمحطة المرسلة ٩٠،٢٧٠ ويكون مقدار الخطأ صفرا إذا كانت الاتجاهات المقاسة بالقرب من الخط الطولي للسفينة صفرا أو ١٨٠°. وينشأ الخطأ النصفي من الأجزاء الرأسية بجسم السفينة والموصلة كهربيا بالقرب من موقع هوائي محدد الاتجاه مثل الصواري والمدخنة وسراسي أذرع الشحنة ... ويكون تأثير الخطأ النصفي الناشئ عن الإنشاءات الرأسية أكبر ما يمكن عندما تتقارب أطوال هذه العاكسات الرأسية من أطوال الموجات المستخدمة بالنسب $\lambda/4$ و$3\lambda/4$ و$5\lambda/4$ وهكذا حيث (λ) هي

طول الموجة ... وأكبر المؤثرات بالطبع هي الهوائيات الأخرى المستخدمة في أغراض إرسال واستقبال الاتصالات اللاسلكية ولذلك تفصل هذه الهوائيات عند استخدام جهاز محدد الاتجاه في رصد اتجاهات محطات الإرسال.

وفي وجود تأثيرات بدن السفينة يجب ملاحظة أن الإشارات المتداخلة تكون أكبر ما يمكن عندما يكون اتجاه المحطة على الاتجاهات الربعية من مقدم السفينة أي في اتجاه ٤٥°، ١٣٥°، ٢٢٥°، ٣١٥° أو اتجاهات نصف دائرية مثل ٩٠°، ٢٧٠°، درجة وبالنسبة للخطأ النصفي Semi-Circular Error فإن الخطأ يكون موجب في النصف الأول من صفر-١٨٠° ويكون سالب من ١٨٠°-٣٦٠° وتكون أقصى قيمة له عند الاتجاه ٩٠، ٢٧٠ أما الخطأ الربعي فإن قيمة الإشارة تتغير أربعة مرات خلال الدورة الكاملة وتكون أقصى قيمة موجبة عند ٤٥°، ٢٢٥° وأقصى قيمة سالبة عند ١٣٥°، ٣١٥°.

ثانيا: الخطأ الليلي أو خطأ الاستقطاب Night Effect

هو الخطأ الذي ينشأ عن استقبال الموجات السماوية لمحطة الإرسال، فمن المعروف أن الموجات السماوية تصل بعد وصول الموجة الأرضية بفترة زمنية تتوقف على بعد الراصد عن محطة الإرسال وأيضا على ارتفاع وكثافة الطبقة المؤينة ووصول الموجات السماوية بعد وصول الموجات الأرضية يعني وجود اختلاف في الطور بين وصول الإشارتين، وتعتمد قيمة الخطأ الناشئ عن التأثير الليلي على كل قيمة التردد المستخدم وعلى درجة تأين الطبقة المؤينة. ولما كانت قيمة التردد المستخدم لنفس المحطة ثابتا فإن خطأ الاستقطاب يتأثر بشدة بمقدار التغير في شدة التأين.

وعندما تكون الإشارة الأرضية عند أقل قيمة لها تكون هناك قيمة ملموسة للموجة السماوية وبذلك لا نحصل على أقل قيمة مطلوبة لتحديد اتجاه المحطة. والتأثير الثاني للموجات السماوية هو أثناء

دورات الموجات السماوية حول محور انتشارها والتي تسمى التضاءل Fading وبسببها يمكن الحصول على إشارة عالية ثم إشارة منخفضة دون تغير موضع الهوائي وهذا قد يسبب خطأ في تحديد الاتجاه يبلغ ٩٠° أحيانا إذا لم نفطن لهذه الظاهرة الطبيعية في انتشار الموجات السماوية وهو ما يسمى بالاستقطاب.

ومجمل القول أن الموجات السماوية تتسبب في عدم الحصول على نهاية صغرى صافية وإنما تتداخل معها شوشرة تؤثر على دقة الاتجاه الذي نحصل عليه. ويمكن التنبؤ بحدوث الاستقطاب على مسافات تصل إلى أكثر من ٢٠٠ ميل أثناء النهار أما أثناء الليل فإن هذه المسافة تقل حتى مسافة ٢٥ ميل فقط. وتبلغ أقصى قيمة لتأثير الخطأ الليلي قبل ساعة من شروق الشمس وساعة بعد غروبها... وحيث لا نستطيع التغلب على تأثير الاستقطاب أو التأثير الليلي فإنه من غير المفضل استخدام الجهاز في هذه الأوقات.

ويمكن التأكد من وجود ظاهرة الاستقطاب بالدلالات التالية:

- استقبال غير منتظم.
- وجود مثلث خطأ في الموقع الناتج من جهاز تحديد الاتجاه.
- ظهور شكل بيضاوي في أجهزة تحديد الاتجاهات المرئية.

وإذا ثبت وجود الاستقطاب فإنه يجب من القيمة الناتجة للاتجاه.

ثالثا: الانكسار الساحلي Coastal Refraction

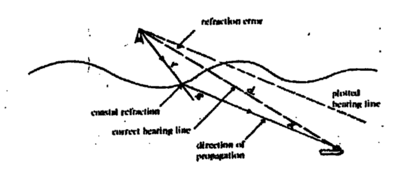
إذا مرت إشارة مغناطيسية في وسطين مختلفين الكثافة والتوصيل فإن مسار الإشارة ينكسر في اتجاه الوسط الأكثر كثافة. وتحدث هذه الظاهرة عندما تمر الإشارة الكهرومغناطيسية من الساحل الي سطح البحر فإنها تغير اتجاهها بمقدار يتوقف على مقدار معامل الانكسار لهذا الساحل وعلى تأثير درجة توصيل سطح الأرض.

وللتغلب على خطأ الانكسار أو تقليل قيمته فإن محطات إرسال الراديو البحرية تبنى وتنشأ بالقرب من خط الساحل بقدر الإمكان حتى يمكن أن تنتشر الموجات الأرضية مباشرة في وسط واحد بقدر

الإمكان. ومع ذلك فإنه في بعض الأحيان تكون السفن مضطرة لاستخدام إشارات محطات وبيكونات تكون بعيدة عن خط الساحل أو في الجانب الآخر من لسان أرضي ممتد أو شبه جزيرة.. وعندئذ يجب ملاحظة العوامل التي تساعد على زيادة هذا الخطأ ومحاولة الإفادة من المعلومات الملاحية و التصحيحات المحلية لهذه المحطات. ويوضح الشكل (١٠-٧) انكسار المسار عن خط الساحل بزاوية (β) وأن قيمة خط الانكسار تحدد بالعلاقة التالية:

$$\sin\alpha = \frac{r}{d} \times \sin\beta$$

حيث (d) هي بعد الراصد عن المحطة و(r) هي بعد المحطة عن خط الساحل، (β) هي زاوية الانكسار على خط الساحل.



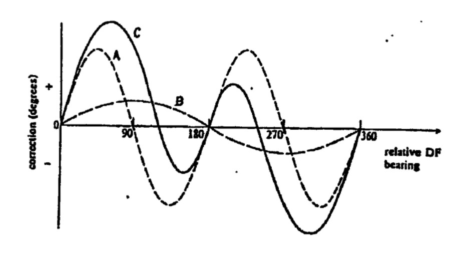
شكل (١٠-٧): خطأ الانكسار على الساحل

١٠-١-٦ معايرة الجهاز ومنحنيات التصحيح

Calibration and Correction Curves

عادة ما تتم هذه المعايرة ومنحنيات التصحيح بواسطة أفراد ذوي خبرة في بعض الموانى العالمية. وبالرغم من هذا فإن ضابط الملاحة وربان السفينة عليهم المساعدة في عمل هذه التصحيحات من وقت لآخر حيث أن معايرة أجهزة تحديد الاتجاه أمر حيوي وضروري إجراؤه عند تركيب جهاز تحديد الاتجاه اللاسلكي أو عندما تتغير الظروف والتي تمت فيها معايرة الجهاز في المرة السابقة.

ويوضح الشكل (١٠–٨) ثلاث منحنيات. يمثل المنحنى (A) تأثير الخطأ الربعي Quadrantal Error على قيمة الانحراف وتبلغ أقصى قيمة للخطأ الربعي عندما يكون الاتجاه النسبي للمحطة ٣١٥،٢٢٥،١٣٥،٤٥ أما المنحنى(B) فهو يمثل تأثير الخطأ النصفي Semicircular والذي يتغير مرتان فقط وتبلغ أقصى قيمة له عندما يكون الاتجاه النسبي للمحطة المرسلة ٩٠°و٢٧٠° أما المنحنى التالي (C) فهو يمثل محصلة من الخطأ الربعي والخطأ النصفي وهو أيضا يمثل النتيجة النهائية لجميع العوامل التى تؤثر على قيمة الاتجاه الدقيق للمحطة الراسلة.



شكل (١٠–٨): منحنى معايرة جهاز تحديد الاتجاه اللاسلكى

ويتبع أحد أسلوبين لمعايرة جهاز تحديد الاتجاه على النحو التالي:

أولا: تدوير السفينة حول نفسها

يعتبر اختيار مناسب لتدوير السفينة وعادة ما يكون خارج الميناء وبعيدا بشكل كافي عن محطة إرسال راديو يمكن رؤيتها ورصدها .. ويكون مكان التدوير خال من المؤثرات الخارجية مثل منطقة مخطاف أو مرور سفن أو بالقرب من أهداف ثابتة على الساحل قد تعمل على عكس إشارات الراديو ثم تجهيز السفينة بطريقة مماثلة لظروف إبحارها بأن تخفض أذرع الشحنة وتغلق بعناية.. ويتم تشغيل

ما يلزم من أجهزة الإبحار حتى تكون السفينة في وضع مماثل للإبحار.. ثم يرصد اتجاه محطة الإرسال لاسلكيا وبصريا على الاتجاهات النسبية للسفينة ويسجل الفرق بين الاتجاهات على شكل منحني أو جدول الخطأ.

ثانيا: تدوير جهاز الرصد حول السفينة

في هذه الحالة تستقبل السفينة على مخطافها أو تقف ساكنة في مكان منعزل ويقوم قارب صغير بحمل جهاز الإرسال ويدور حول السفينة ويتم مقارنة الاتجاه النسبي واللاسلكي للقارب أثناء دورانه حول السفينة وتسجل القراءات على شكل منحنى أو جدول الخطأ.

ويتم تدوير السفينة Swinging على غرار ما يتم عمله لتصحيح بوصلات السفينة وتأخذ قراءات متعاقبة وآنية لاتجاه المحطة اللاسلكية الأرضية. وفي معظم الموانئ التي بها شركات بيع جهاز محدد الاتجاه فإنه توجد محطات خاصة لعمل المعايرة تكون مميزة الألوان وتكون في مكان قريب من مدخل الميناء أو بالقرب من شاطئ حتى تتم المعايرة بسلام ولا يحجبها عن الرؤية شئ بالنسبة للسفينة.

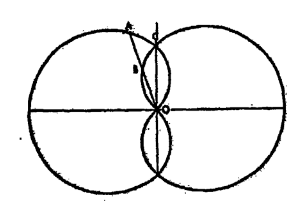
وبالرغم من أن هذه المعايرة يجب أن تتم لكل تردد Frequency إلا أنه جوازا يتم معايرة الجهاز على تردد واحد فقط والخاص بالمحطة التي يتم تدوير السفينة بالقرب منها.

ويجب ملاحظة أن الاتجاه الذى نحصل عليه بواسطة محدد الاتجاه اللاسلكي هو اتجاه نسبي Relative Radio Bearing ويجب إضافة مقدار خط سير السفينة الحقيقي على الاتجاه النسبي للحصول على الاتجاه الحقيقي للمحطة.

١٠-١-٧ أجهزة تحديد الاتجاه الأوتوماتيكية

- تعتمد هذه الأجهزة على الاستقبال اللحظي عن طريق الهوائيات المتعامدة بالإضافة الى الهوائي الرأسي الذى يساعد على إظهار التأثير المشترك

بالشكل القلبي (الكارديوم) وتقوم الأجهزة الأوتوماتيكية بعكس الإشارة المتولدة على طرفي ملف البحث Search Coil بحيث يسبب فرق طور مقداره ١٨٠° فإذا كان تغير فرق الجهد يعمل بمعدل ٤٠٠ مرة في الثانية فإننا نحصل على تأثير مماثل لتأثير الشكل القلبي ولكن في الاتجاه المعاكس شكل (١٠-٩) المقارن لأقل تيار ناشئ عن هذا الشكل. وفي الوضع أقل قيمة للإشارة فإن قوة الإشارة لم تعد متأثرة بتغير الطور وبالتالي تغير الإشارة من سالب الى موجب وبالعكس وسيظل المؤشر مشيرا الى الاتجاه الذى تكون قيمة الإشارة عليه أقل ما يمكن. وبالتالى فإن ملف البحث يتجه دائما فى الاتجاه الصحيح الدال على اتجاه محطة الإرسال.



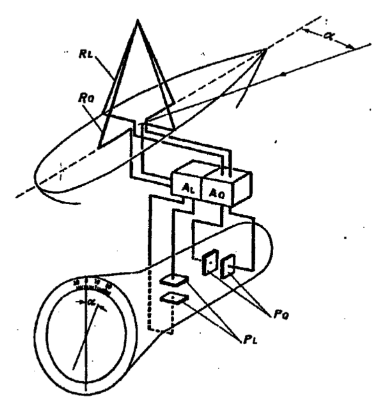
شكل (١٠-٩): الشكل الكارديودى للأجهزة الأتوماتيكية

أما أجهزة تحديد الاتجاه المرئية فإنها تستخدم صمام أشعة المهبط CRT فى بيان اتجاه محطة الإرسال وتتمكن من نقل الإشارة المتولدة على الهوائى الإطارى المتعامد الى ألواح الانحراف الأفقى والرأسى بأنبوبة أشعة المهبط.. ويوضح الشكل (١٠-١٠) رسم تخطيطى للهوائى المتعامد وصمام أشعة المهبط ومسار الإشارات المؤثرة على شاشة البيان والتى تحدد اتجاه محطة الإرسال كخط إلكترون مرئى. ويتميز جهاز تحديد الاتجاه المرئى بالآتى:

أ- يظهر اتجاه المحطة كخط الكتروني مضيء يوضح الاتجاه النسبي أو الاتجاه الحقيقي إذا كان الجهاز معشقا مع البوصلة الجايرو.

ب- الجهاز المرئي أقصى قيمة للإشارة وليس أصغر قيمة كما هو الحال في الأجهزة السمعية فقط.. ولذلك فإن مدى استقبال الأجهزة المرئية يكون أكبر وأدق من مدى الأجهزة السمعية.

كما يمكن اكتشاف التأثير الليلي أو تداخل الموجات السماوية بتغير الخط الالكتروني وتجنب الراصدات المتأثرة بتداخل الموجات السماوية.



شكل (١٠-١٠): محدد الاتجاه المرئي

١٠-٣ التكامل في الأنظمة الملاحية

باستخدام أجهزة تحليل البيانات Processor في مجال الملاحة البحرية أصبح من الممكن إدماج واحد مع أكثر من هذه الأنظمة أو المساعدات الملاحية والتي تكون منظومة التحكم الملاحي في السفينة ولما كان

التحكم الأوتوماتيكي قد أصبح سمة رئيسية في معظم أجهزة السفينة سواء ماكينات الدفع الرئيسية أو أعمال البضائع والتحكم في الأجزاء المتحركة الي الأجهزة والماكينات المساعدة فقد أصبح من المناسب إدماج منظومات الملاحة في وحدة متكاملة للتحكم والسيطرة في غرفة القيادة بالسفينة.

وتعتمد فكرة التكامل على وجود وحدة رئيسية لمعالجة البيانات Micro Processor وتحصل على البيانات اللازمة عن طريق مستشعرات Sensors في عدد من أوجه التحكم الخاصة بقيادة السفينة وملاحتها. وأصبح من الممكن أن تقوم وحدة المعالجة الرئيسية بتحذير الملاح في حالة عطل أو توقف أحد أجهزة الاستشعار أو وجود خطر يستدعي تنبيه مراقب الملاحة من أجله.

ولقد أصبح أيضا في الإمكان أن يتم إدماج أنظمة الملاحة الإلكترونية التي تعتمد بصفة رئيسية على استقبال موجات الراديو وتتحد في مستقبل ملاحي رئيسي قادر على توظيف كافة البيانات وعمل جميع القياسات المطلوبة لأنظمة الملاحة المتعددة ويمد كل منها بالمدخلات الرئيسية المطلوبة ويستخرج منها البيانات الملاحية لتحديد الموقع المرصود وخط السير والسرعة والارتفاع.غير أن أحد الفلسفات التي تفي بسلامة الملاحة قد لا تفضل تجميع كافة أنظمة الملاحة في مستقبل ملاحي رئيسي واحد وإنما تجميع بعض الأنظمة في مستقبلات متكاملة تكامل جزئي حتى تحافظ على نظام للحماية Back-up ونظام التعددية Redundancy.

١٠-٣-١ مستشعرات التكامل الملاحي

حيث أن الهدف من التكامل الملاحي هو زيادة التأمين الملاحي وزيادة الدقة والاعتمادية للنظام المتكامل فإن النظام يتطلب توافر البيانات المناسبة التي نستطيع تحليلها ليعطي الموقع المرصود للسفينة والمعلومات الملاحية الأخرى التي تسهل على الملاحين اتخاذ قرارات قيادة وتشغيل السفينة لذا يجب أن يزود النظام المتكامل بعدد من المستشعرات الخارجية التي تستقبل البيانات الأساسية التي تمكنه من تحليل المعلومات الضرورية

وتنقسم مجموعة المستشعرات الى مجموعة تحديد الموقع ومجموعة بيانات الحركة في الماء والمعلومات الخارجية.

أولا: مجموعة تحديد الموقع

لتحديد الموقع فإن هناك عدد كبير من أنظمة تحديد الموقع سواء تلك التى تعتمد على الأقمار الصناعية أو التى تعتمد على أنظمة الهيبربولا والمحطات الأرضية وأنظمة تحديد الموقع بالقصور الذاتى ولا يغيب عن الذهن ونحن فى بداية القرن الواحد والعشرين أن أقمار الملاحة جي بي أس وجلوناس لم تلغ أو تنهي نظريات وتكنولوجيات أنظمة الملاحة الهيبربولا ويؤدى التكامل الى تحسين نتائج كل من الملاحة بالأقمار الصناعية وأنظمة الملاحة بالهيبربولا والتغلب على نقائص كل منهما.

وفيما يلى أنظمة الملاحة التى يمكن تكاملها وتدخل كمستشعر لنظام متكامل تحتوى على اثنين أو أكثر من هذه النظم:

أ- مستقبل لنظام الملاحة بالأقمار الصناعية سواء ذو قناة استقبال واحدة أو ثنائى القنوات وأنظمة الأقمار الصناعية إما أن تكون جي بي أس الأمريكي أو جلوناس الروسي أو إجنوس EGNOS الأوروبي.

ب- مستقبل نظام لوران الأمريكى أو نظام شايكا الروسى والذى مازال يعمل بكفاءة ويشهد تحديث وتطوير حتى يعمل كنظام بديل (Back-up) خاصة على السواحل الأوروبية الغربية والشرقية وتجرى حاليا جهود كبيرة بين الدول الأوروبية لربط كل من شبكتي لوران وشايكا لتستمر فى تأدية وظائفهما كنظم تحديد الموقع بالهيبربولا.

جـ- مستقبلات نظم الملاحة القريبة من الساحل مثل هاي فكس ولامبادا ونظام التراي سبوندر وسيلاديس والأنظمة الفرقية التى تعتمد على الأقمار الصناعية جي بي أس المحلية

منها (LAD) والواسعة الانتشار (WAD)
(Local and Wide Area Differential).

ويمكن إيجاز الخصائص المطلوبة في أنظمة تحديد الموقع لكي تكون جزءا من النظام المتكامل في الآتي:

- أن يكون النظام قادرا على توفير تغطية شاملة للكرة الأرضية أو واسع الانتشار والتغطية.
- أن يكون النظام صالحا للاستخدام تحت جميع الظروف الجوية بصفة مستمرة.
- أن تكون الدقة المتوقعة من تكامل الأجهزة في حدود الدقة المسموح بها لأغراض النظام.

والأجهزة التي تم استعراضها من قبل يمكنها أن تكون جزءا من منظومة التكامل.

ثانيا: مجموعة الحركة

تشتمل هذه المجموعة على البيانات الخاصة بسرعة واتجاه السفينة مثل:

أ- أجهزة تحديد خط السير أو بمعنى آخر البوصلات سواء الجيروسكوبية أو الحقيقية والتي تزود بوسيلة لمعايرة الخطأ أو الانحراف عن الاتجاه الحقيقي وقد تكون هذه الوسيلة ضمن المجمع الملاحي الذي يلاشي عيوب وأخطاء الأجهزة المكونة للنظام المتكامل.

ب- مستشعرات أو أجهزة قياس السرعة والتي تعمل في النهاية على قياس سرعة السفينة الحقيقية ومنها أجهزة قياس السرعة بالدوبلر أو العدادات الكهرومغناطيسية. ولا يجب أن يغيب عن ذهننا أن النظام الملاحي بالأقمار الصناعية قادر على تحديد السرعة بدقة ولكن في إطار التكامل فإن الفكرة الأساسية للتكامل تدعو إلى الحصول على البيانات من أكثر من مصدر

ولذا فإن وجود عداد للسرعة عن نظام جي بي أس هو أمر مرغوب.

جـ- أجهزة ومستشعرات قياس درجة الحرارة والملوحة للمياه المحيطة بالسفينة وهي بيانات ضرورية لعمل تصحيحات سرعة الصوت في المياه لاستخدامها في معايرة عدادات قياس السرعة أو معايرة أجهزة قياس الأعماق بالصدى.

د- أجهزة قياس الحركة الذاتية للسفينة في الماء والتي قد تشتمل على قياس قيمة الدرفلة الطولية والدرفلة العرضية ومعدل كل منهما وأجهزة قياس معدل الدوران للسفينة.

هـ- بيانات أجهزة الرادار وأجهزة الأربا والتي تصور الأهداف المحيطة بالسفينة سواء كانت أهداف ساحلية أو سفن بالقرب منها أو علامات مائية./ وتسهم المعلومات المستخدمة من أجهزة سواء ذات التردد العالي أو المنخفض (١٠ سم، ٣ سم) في تأمين حركة الملاحة وتشكل جزءا هاما من أنظمة الملاحة التكاملية الشاملة.

و- أجهزة التوجه الأتوماتيكية (Auto Pilot) والتي قد تكون عنصرا هاما في المجمع الملاحي المتكامل وقد تأخذ أوامرها من بيانات تحديد الموقع وخط السير أو من البيانات الواردة ومن أجهزة الرادار والأربا لتعمل تلقائيا في حركة متناسقة مع وحدة التحكم الرئيسية للنظام المتكامل.

وبالإضافة إلى هذه البيانات فإن النظام المتكامل قد يشتمل أيضا على وسيلة لعرض المعلومات الملاحية والتقارير الدورية الخاصة بالسفينة أو بحركة السفن أو بالطقس الجوي أو قنوات الاتصال بأقمار الاتصالات البحرية.

وهكذا فإن فكرة التكامل الملاحية قد ترتبط جزئيا بنظام أو أكثر لتوفير معلومات الموقع أو أنها قد تتسع لتشمل بيانات أكثر وتدفق للمعلومات بطريقة أوتوماتيكية بحيث توفر للملاح منظومة معلوماتية

كاملة تساعده على قيادة السفينة بكفاءة وأمان وكذلك المعدات والأجهزة الملاحية التى تتوفر لدى الملاحين.

ويعتبر الحاسب الإلكترونى وحدة المعالجة الرئيسية Main Processor كعنصر أساسى فى أي نظام ملاحى متكامل إذ أنه ضرورى لربط المعلومات المتداخلة فى مكونات النظام وعمل التغذية لكل نظام على حدة. كما يقوم الحاسب بتخزين المعلومات الخاصة بخطوط السير والموقع والتحركات التى أجرتها السفينة لاسترجاعها عند الطلب.

١٠-٣-٣ التكامل بين جى بى أس وجلوناس GPS+Glonas Integration

ظهرت الحاجة للتكامل بين النظام الأمريكى جى بى أس والنظام الروسى جلوناس عندما أدخلت الإدارة الأمريكية نظام الإتاحية المختارة (SA) والتى بمقتضاها انخفضت قدرة النظام فى التحديد الدقيق للموقع للعديد من المستفيدين فى غير الأغراض العسكرية لذلك اتجه المجتمع الدولى والأوروبى على وجه الخصوص فى التفكير فى استخدام إمكانيات كلا النظامين الأمريكى والروسى فى تحديد الموقع وحيث أن كل من النظامين يشتمل على ٢٤ قمرا فإن عدد الأقمار المستخدمة يصل الى ٤٨ قمرا صناعيا تعطى تغطية شاملة وكاملة للكرة الأرضية ويكون عدد الأقمار المتاحة للرصد من أي مكان على سطح الأرض يزيد عن ١٢ قمرا لهم مواصفات تمكن الراصد من تحديد الموقع بدرجة عالية من الدقة والتغلب على درجة التميع (PDOP) الذى يتعرض لها الموقع نتيجة للتوزيع الهندسى الغير مناسب وقت الرصد من موقع الراصد.

وسوف تصمم أجهزة استقبال يمكنها استلام وتحليل البيانات من كلا النظامين الروسى والأمريكى سواء باستخدام الترددات العالية (L_1) من كل منهم أو استخدام أربعة ترددات (L_1,L_2) من كلا النظامين وسوف يعمل هذا النظام على التغلب على عدة مشاكل يعانى كل منهما على حدة مثل:

- تحسين الدقة الناتجة درجة التميع (PDOP) الناتج عن التوزيع الهندسى الضعيف.

- تقليل تأثير الانكسار وتأثير طبقات الغلاف الجوى وتأثير طبقة الأيونوسفير وتأثير طبقة التروبوسفير.
- تحسين أداء النظام Integrity.

١٠-٣-٣ التكامل بين جى بى أس + جلوناس + أقمار الاتصالات جانساس

Global Navigation Satellite System (GNSS)

تعمل حاليا مجموعة الدول الأوروبية (الاتحاد الأوروبى على إنشاء منظومة ملاحة تعتمد على كلا النظامين الملاحيين الموجودين حاليا وهما جى بى أس (جيباس) وجلوناس. وتستخدم معهما نظام الأقمار الصناعية للاتصالات البحرية (Inmarsat). والسبب فى استخدام نظام للاتصالات يرجع الى انخفاض مقدار الاعتمادية على النظام أو الشمولية(Integrity) ويحدث أحيانا إذا تأثر أحيانا أحد الأقمار الصناعية وحدث خلل ما فى التوقيت أو إزاحة فى مقدار الترددات المرسلة مما يؤدى الى إعطاء بيانات للموقع غير صحيحة وهذا ما يتعرض له أى نظام ملاحى بما فى ذلك نظم الأقمار الصناعية. ويمكن اكتشاف الخلل أو العطل عن طريق رصد المحطات الأرضية الخاصة بالمتابعة الأرضية ثم إذاعة بيانات وتحذيرات عن استخدام القمر المعطل أو الذى به خلل. وبالطبع فإن هذه العملية قد تستغرق عدة ساعات حتى يأتى القمر فوق محطات المتابعة أو يدخل فى نطاق رصدها ثم تذاع التحذيرات على وسائل الاتصال المناسبة. وكما قلنا فقد تستغرق عدة ساعات قبل أن يكتشف الملاح أو المستخدم لنظام الأقمار الصناعية (Inmarsat-C) لاكتشاف العطل الذى يحدث فى أحد الأقمار ثم إذاعة التحذير مباشرة. وقد تستغرق هذه العملية ثوانى معدودة يكون خلالها جميع المستخدمين على دراية بوجود العطل أو الخلل الفنى فى أحد الأقمار المستخدمة.

١٠-٣-٤ التكامل بين جى بى أس والملاحة بالقصور الذاتى GPS/INS

من الاستخدامات التى تحتاج إلى دقة عالية وبصفة منتظمة خاصة أثناء الحركة هي الملاحة الجوية والمساحة الجوية والتى تتطلب استمرارية

لرصد لخرائط الجوية، وقد يكون من المشاكل الرئيسية لاستخدام جي بي أس هو تعرض إشاراته للفقد إذا كانت ديناميكية جهاز الاستقبال غير مستقرة، وحتى يمكن التغلب على هذه الظاهرة فإنه بالإمكان تكامل نظام جي بي أس مع نظام الملاحة بالقصور الذاتي والذي يمكنه تحديد الموقع ذاتيا دون الاعتماد على إشارات خارجية والذي يعتمد بالقدر الأول على تحليل العجلة التسارعية وتكامل السرعة والاتجاه الدقيق لتحديد موقع الراصد في الأبعاد الثلاثية (3D) بالإضافة إلى السرعة.

يقوم جهاز التعاجل Accelerometer بقياس العجلة بالإضافة إلى قوة الجذب بينما يقوم الجايروسكوب بقياس اتجاه هذه المعلومات وبالتالي يمكن حساب السرعة والمسافة وموقع الراصد وهو جهاز مستقل لا يعتمد في بياناته على إشارات ترد إليه من محطات أرضية أو أقمار صناعية. وبالتالي فإن الـ INS يوفر دقة عالية تعادل الدقة التي يوفرها نظام الأقمار الصناعية جي بي أس خاصة في المراحل الأولى لبدء التشغيل Initialization كما يمكنه تحديث البيانات Update.

وقد تكون أكبر مشاكل نظام القصور الذاتي هو الخطأ المتجمع Error Accumulated والناتج عن الإزاحة Drift الناتجة عن الجايروسكوب إذا ترك الجهاز بدون تصحيح، وبذلك فإن تكامل كل من INS وGPS يكمل كل منهما الآخر.

عيوب النظام الذاتي كما يتغلب على عيوب انقطاع الإشارة إذا كانت ديناميكية الراصد غير منتظمة (Attitude).

ففي حين يوفر نظام جي بي أس بداية المعلومات السليمة Initialization للنظام الذاتي INS فإن النظام الذاتي يغطي الفترات التي تكون فيها الأقمار الصناعية بالنسبة للراصد ليست في أحسن موضع هندسي لها.

١٠-٣-٥ التكامل بين جي بي أس نظام لوران-سي GPS/LORAN-C

مما لا شك فيه أن التكامل بين كل من لوران-سي ونظام الأقمار الصناعية جي بي أس كل منهما يحسن من أداء الآخر، ولكن خصائص نظام لوران تختلف عن خصائص الـ جي بي أس، فانتشار إشارات لوران لها سرعة وتتغير

باختلاف الوسط الذى تسير فيه الإشارة على سطح الأرض ولذلك فإن تصحيح المسار يتم عن طريق النماذج الرياضية لأجهزة الاستقبال والتى عادة تكون غير دقيقة لعدم معرفة السرعة الدقيقة وعندما يختلف الوسط نتيجة للاختلاف الجغرافى للمنطقة أو الاختلاف الموسمى لظروف المنطقة وبالتالى فإن استخدام بيانات نظام الأقمار الصناعية سوف يساعد على استخدام نموذج أكثر دقة فى تحديد سرعة الانتشار. أما الاتجاه الذى يمكن أن يستفيد منه نظام الأقمار الصناعية من نظام لوران-سى فإنه يكمن فى تحسين الدقة الناتجة عن التميع فى دقة الموقع (DOP) ويظهر بوضوح عندما تكون الأقمار الصناعية الموجودة فى سماء الراصد غير مناسبة من حيث ارتفاعها الزاوى أو من حيث تشكيلها الهندسى لتوفير موقع دقيق.

ومن أكثر شبكات لوران تكاملا مع نظام جى بى أس هي شبكة (NELS) North European Loran-C Station والتى تغطى شمال أوروبا والتى يمكن بالإضافة إلى بث إشارات لوران بث التصحيحات الفرقية لنظام جى بى أس ومتابعة الأقمار للتأكد من صحة النظام للاستخدام Integrity.

١٠-٣-٦ التكامل بين AIS والأربا والجى بى أس

فى الأماكن المزدحمة بحركة السفن مثل الممرات الملاحية والأنهار والموانئ تصبح الحاجة إلى نظام القذف الآلى شديدة وملحة ونظرا لوجود أهداف أرضية وثابتة كثيرة بالإضافة إلى الحركات البحرية العديدة فى مناطق العمل البحرى يكون من الصعب الاعتماد على جهاز الأربا (جهاز التوقيع الآلى للرادار) حيث يعتبر كافيا لضمان رصد كافة التحركات بدقة وبسرعة؛ ففى حين لا يستطيع جهاز الأربا تحديد مكان السفينة التى تختفى فى أماكن الانحناء من النهر أو الممر الملاحى، فإنه يمكن رصد بياناتها بواسطة نظام التعرف الآلى ويمكن تحديثها بصفة دورية بصرف النظر عن ندرة جهاز الرادار فالسفينة الموجود فيها جهاز التعرف سوف تمكن جميع السفن فى المنطقة من معرفة بيانات السفن الأخرى مما يساعد بدرجة كبيرة فى تفادى التصادم.

كما أن أهداف السفن تظهر على شاشات الرادار والأربا ليس فقط كنقطة أو شرطة مضيئة وإنما يمكنها أن تأخذ شكلا يحدد نوع السفينة ويحدد أيضا وجهتها أي مقدمها ومؤخرها مما يساعد كثيرا في تحديد المناورة المناسبة لتفادى التصادم.

ويمكن إيضاح مميزات نظام التعرف الآلي في العوامل التالية:

- يمكن بث بيانات السفينة آليا بوضوح على أجهزة الرادار لمحطة خدمة مرور السفن أو السفن المحيطة.
- لا تتأثر بالظروف والعوامل الجوية المحيطة.
- يمكن بث معلومات إضافية بالإضافة إلى إحداثيات الموقع مثل خط السير ومعدل الدوران ونوع وكميات البضاعة ووقت الوصول (ETA) وأبعاد السفينة.
- يمكن استقبال بيانات السفن من مسافات خارج نطاق تغطية الرادار البحرى.
- يمكن بث العديد من المعلومات أو التحذيرات أو أي إشارات يراد بثها.
- يمكن استخدام النظام على أجهزة متنقلة لخدمة المرشدين في أماكن تواجدهم في أحد أجناب غرفة القيادة.
- تخفيض لحاجة إلى الاتصال الصوتي بين السفينة وبين مراكز المراقبة البحرية.
- زيادة معامل الأمان في ملاحة السفن.

١٠-٣ نظام خرائط المعلومات الإلكترونية

Electronic Charts Display Information System (ECDIS)

تعتبر الخرائط الإلكترونية نتاج للتكامل الملاحي بين عدد من أجهزة الاستشعار لتحديد الموقع وصورة الرادار والمعلومات الملاحية المسجلة على الخرائط البحرية لإنتاج جهاز عرض شامل يسمى إكدس أو الخرائط الإلكترونية. ولقد مرت الخرائط الإلكترونية بعدة مراحل

للتطوير والتحديث وتبادل الرأي بين السلطات المسئولة عن المسح البحرى وإنتاج الخرائط البحرية والتى تمثلها المنظمة الدولية للمسح الهيدروجرافى (IHO) وبين المنظمة البحرية الدولية (IMO) وبين العديد من الشركات المنتجة لأجهزة تحويل الخرائط الورقية إلى رقمية على شاشات العرض الإلكترونى.

والخريطة الإلكترونية هي وسيلة عرض لكافة المعلومات الملاحية التى تؤمن سير وملاحة السفينة وتعطى الملاح صورة واضحة عن الموقف المحيط بالسفينة وتسمح له بعمل تجارب لخطوط السير وتخطيط الرحلات واستعادة بيانات الرحلة فيما بعد.

ولقد أصدرت مؤخراً المنظمة البحرية الدولية المواصفات الفنية لإنتاج وعرض الخرائط الإلكترونية والتى توضح كافة المعلومات الملاحية بالرموز والأشكال المتعارف عليها بين الملاحين حتى لا تسمح بوجود احتمال لخلط أو لبس بين معلومات الملاحين عند استخدام الخرائط المعروفة والعرض الإلكترونى الجديد على أجهزة العرض الإلكترونية. ولقد صدرت أيضاً تعديلات الاتفاقية الدولية لسلامة الأرواح باعتبار الخرائط الإلكترونية مماثلة للخرائط الورقية فيما تحتويه من بيانات ومعلومات من الوجهة القانونية وبذلك تكون المنظمة البحرية الدولية قد أطلقت العنان لمنتجى هذا النوع من الخرائط لإنتاج أفضل ما أفرزته التكنولوجيا الحديثة لعرض بيانات الخرائط وفقاً لمعدلات أداء معينة تم ذكرها تفصيلاً ونشرها على السلطات المسئولة والمنوط بها إصدار الخرائط فى الدول البحرية.

١٠-٣-١ مكونات نظام الخرائط الإلكترونية

يتكون نظام معلومات الخرائط الإلكترونيـة مـن الأجـزاء التاليـة:

أولاً: حاسب آلي

يعمـل الحاسـب الآلي ذو السعة العاليـة علـى إنـهاء كافـة العمليـات البيانيـة والحسابية اللازمـة لعـرض بيانـات الخريطـة ويسـتخدم ذاكـرة مصـورة (Graphic) ويسـتغرق تغـير الصـور فـي الحاسـب فـترة زمنيـة قصيرة.

ثانياً: المبينات المرئية

هـي المبينـات التـى تظـهر عليـها المعلومـات المسـجلة علـى الخرائـط وكذا خط السير وموقع السـفينة أثنـاء الإبحـار وسـرعة السـفينة وحسـابات المسافة المقطوعة والأعمـاق المحيطـة بمكـان السـفينة.

ثالثاً: وحدة تخزين الخرائط **Chart Memory**

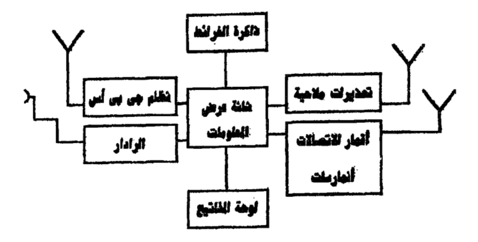
لقد تم ترجمـة الخرائط الورقية إلى خرائـط إلكترونيـة رقميـة فـي معظـم أجـزاء العـالم واسـتخدمت فـى ذلـك إحـدى طريقتـين: الأولى وهـي طريقـة (RASTER) وتسـتخدمها هيئـات المسـاحة فى إنجلـترا والـنرويج وكنـدا والثانيـة وهـي طريقـة (VECTORIAL) التـى يتبعـها عـدد كبـير مـن الشـركات المنتجـة. وتتمـيز الطريقـة الأولى فـى أنـها تنقـل جميـع المعلومـات الموجـودة علـى الخريطـة الورقيـة مـن خطـوط السـاحل وخطـوط الأعمـاق والمعلومـات لملاحيـة وكـل مـا هـو مبـين علـى الخريطـة يتـم نقلـها علـى شـفافة واحـدة أو علـى سـطح واحـد. أمـا بالطريقـة الثانيـة فيتـم نقـل البيانـات الرقميـة مـن الخريطـة فـى صـورة طبقـات Layers كـل منـها يحمـل جـانب مـن المعلومـات مثـل خطـوط السـاحل ثـم طبقـة لخطـوط الأعمـاق ثـم طبقـة للعائمـات والمعلومـات الملاحيـة وطبقـة أخـرى للإحداثيـات الجغرافيـة، وكـل مـن الطريقتـين معتمدتـان مـن المنظمـة البحريـة الدوليـة. وتسـجل هـذه الخرائـط علـى أقـراص ممغنطـة Compact Disk)) ذات سـعة عاليـة جـداً يمكـن لكـل

واحدة منها أن تحتوى على عشرات الخرائط أو على خرائط منطقة إبحار كاملة فى تسلسل ملاحى منطقى بحيث تتواصل الخرائط مع بعضها حسب خطوط السير كما هو متاح فى كتالوج الخرائط البحرية.

رابعاً: نظام تصحيحات الخرائط Chart Corrections

يتاح لنظام الخرائط الإلكترونية تصحيح وتعديل البيانات الواردة بها وفقاً للمتغيرات الفعلية التى حدثت لمسح بعض المناطق ويتاح لنظام الخرائط الإلكترونية إدخال التصحيحات اللازمة بعدة طرق منها الطرق اليدوية التى يقوم فيها الملاح بإدخال بيانات التصحيح التى ترد إليه عن طريق منشورات الملاحين المطبوعة أو المنقولة على الأقراص الممغنطة (CD) والتى تصله بالطرق البريدية العادية أثناء وجود السفينة بالميناء أو عن طريق الاتصال المباشر بين السفينة وبين الأقمار الصناعية الجيل الثالث منها (Inmarsat C) والذى يسمح بتصحيح المعلومات تلقائياً دون أن تتأثر أعمال الرحلة أثناء التشغيل، وأخيراً يمكن الحصول على التصحيحات عبر وسائل الاتصال اللاسلكية (RT) أو الفاكسميلى ويقوم الملاح بإدخالها على قاعدة البيانات على الخريطة الإلكترونية.

ويسمح نظام الخرائط الإلكترونية أن يتكامل مع أنظمة الملاحة الإلكترونية وأن يتلقى بيانات موقع السفينة مباشرة من نظام جى بى أس أو أنظمة مماثلة لتحديد وتحديث موقع السفينة تلقائياً. كما يسمح النظام باستقبال خط السير من البوصلات الحقيقية وعدادات السرعة والمسافة. ويوضح الشكل (١٠-١١) نموذج لتكامل الخريطة الإلكترونية مع أنظمة تحديد الموقع والرادار.



شكل (١٠-١١): وحدات الخريطة الإلكترونية

كذلك أصبح من الممكن أن تتكامل المعلومات التي نحصل عليها من جهاز الرادار مع الخريطة الإلكترونية وبنفس مقياس الرسم بين الرادار والخريطة بحيث تتطابق كل من الصورة الرادارية مع صورة الخريطة، وهذا التكامل يجعل من الممكن بيان حركة السفن المحيطة بالسفينة الراصدة وأن تنتقل أعمال مراقبة الرادار إلى مراقبة الخريطة، ويمكن عن طريق الأربا أن يستنتج الملاح البيانات المتعلقة بالمناورات المناسبة لتفادي التصادم لعدد كبير من السفن المحيطة به كما يمكن أيضاً استشعار مكان البيكونات الرادارية وأمكن أيضاً عند نقل صورة الرادار إلى شاشة عرض الخريطة الإلكترونية حذف أو تظليل الوهج الذي تحدثه أصداء الرادار المرتدة من الأرض والاكتفاء فقط بتحديد خط الساحل من الرادار حتى ينطبق على خط الساحل بالخريطة كما أمكن أيضاً تقليل مقدار تشويش البحر والمطر حتى يظل موقع السفينة واضحاً ويظهر أثره البياني وفقاً لمستشعرات تحديد الموقع مثل جي بي أس أو أي نظام إلكتروني لتحديد الموقع.

١٠-٣-٢ تخطيط الرحلة مع الخريطة الإلكترونية Voyage Planning

قد يكون من أهم خصائص الخرائط الإلكترونية إمكانية التخطيط المسبق والمتابعة أثناء الرحلة وأخيراً استرجاع المعلومات وفقاً للاختيارات المتاحة التالية:

أولاً: التخطيط المسبق

التخطيط المسبق للرحلة هو المرحلة التي يتم خلالها تحديد خطوط السير وبيان أماكن تغير خط السير والسرعة وتحديد الأماكن المزدحمة أو الأماكن التي يزداد فيها معدل الخطر سواء الناتج عن حركة المرور أو القيود المكانية وتخطيط المسار وفقاً للمسارات الموحدة للسفن ومناطق فصل حركة المرور Traffic Separation Schemes وحساب المسافات والسرعات والأوقات التي تستغرقها الأجزاء المختلفة من الرحلة، ويتم خلال عملية التخطيط بيان وتسجيل المعلومات المطلوبة لكل مرحلة ومتى يمكن استدعاء الربان أو استقبال وإرسال الرسائل اللاسلكية سواء لإدارة الشركة أو لمحطات الوصول ومواعيد وأماكن إرسال التقارير الخاصة بأنظمة خدمات المرور البحري (VTS). كما يمكن للملاح أن يعمل التجارب المناسبة للمناورات بطريقة المحاكاة للدخول إلى الموانئ والممرات الملاحية وافتراض خطوط السير والسرعات المطلوبة لكل مناورة وتسجيلها للاسترشاد بها عند الاقتراب من هذه المناطق.

ثانياً: مرحلة المتابعة أثناء الرصد Monitoring

يمكن للملاح أثناء الرحلة أن يقارن بين الظروف الموجودة بالفعل وتلك التي افترضها أثناء عملية التخطيط ويمكن أيضاً للملاح أن يعرض في نفس الوقت في جزء جانبي من شاشة العرض الخطوات التخطيطية للرحلة ومقارنتها بواقع الرحلة، وقد تساعده البيانات التي تم تسجيلها عن المناورات عند دخول الموانئ والممرات الملاحية

لاتباعها عند الوصول إلى هذه المناطق ومن الطبيعي فإن خطة الرحلة لا تتعارض مطلقاً مع وقائع الرحلة نفسها.

ثالثاً: مرحلة استرجاع بيانات الرصد Retrieving

بعد انتهاء الرحلة سيكون لدى الملاح سجلاً كاملاً لوقائع الرحلة التى تمت ويمكن استرجاعها وإعادة عرضها فى الوقت الحقيقى لها أو يمكن تقديمها أو تأخيرها للأمام أو للخلف لعرض فترة زمنية معينة حيث يمكن للملاح مراجعة مواقع وخطوط السير والمناورات التى تمت بالسفينة سواء لتجنب التصادم أو لتغيير خطوط السير أو الدخول إلى الموانئ والممرات الملاحية. وبالتالى فإن الخريطة الإلكترونية سوف تعمل عمل الصندوق السود الذى اقترح العمل به فى فترة زمنية سابقة على غرار الصندوق الأسود بالملاحة الجوية والذى يمكنه استرجاع بيانات ومسارات الرحلة فى حالة الحوادث البحرية لمراجعة سلامة الإجراءات التى اتبعها الربان فى المواقف التى واجهتها السفينة. وقد تكون خاصية التخزين والاسترجاع من أهم خصائص التخطيط حيث يمكن الاستفادة من التصرفات والإجراءات التى حدثت أثناء الرحلة ويمكن للسفينة حفظ المسار القديم للرحلة أو على ديسكات متنقلة وعمل سجل شامل لرحلات السفينة أو تخزين جزء منها لفترة قصيرة، وهكذا فسوف يتعامل الملاح مع السجل السابق للرحلة كما يتعامل مع أي بيانات يتم تخزينها على الكمبيوتر وفقاً لسعة الكمبيوتر المستخدم.

١٠-٣-٣ معايير الأداء لنظام عرض الخرائط الإلكترونية ECDIS Standards

قامت المنظمة البحرية الدولية بالاشتراك مع المنظمة الدولية للمسح الهيدروجرافى (IHO) بوضع المواصفات الفنية اللازم توافرها عند إنتاج أجهزة عرض الخرائط الإلكترونية وفقاً للمعايير التالية:

أولاً: متطلبات عامة

أ- الوظيفة الأساسية لإكدس (ECDIS) هي المساهمة في تأمين سلامة الملاحة.

ب- تعتبر إكدس مع الأجهزة والمعدات الملحقة بها معادلة لمتطلبات الخرائط الواردة في الاتفاقية الدولية لسلامة الأرواح "سولاس".

جـ- يجب أن تكون إكدس قادرة على عرض جميع معلومات الخرائط اللازمة للملاحة الآمنة والتي تصدرها مكاتب المسح البحري المعتمدة في الدول المعنية.

د- يجب على الخرائط الإلكترونية أن يكون بإمكانها تعديل وتحديث البيانات الملاحية بها بطريقة سهلة وسريعة ومعتمدة.

هـ- يجب أن تكون أجهزة عرض الخرائط الإلكترونية قادرة على تخفيف الأعباء الملاحية للملاحين في تحديد الموقع بطريقة ملائمة وإجراء عمليات تخطيط المسار الملاحي.

و- يجب تزويد الخرائط الإلكترونية بوسيلة للتحذير والإنذار للبيانات الخاطئة أو عندما تتعطل أحد الأجهزة المتصلة بها أو عندما توشك الخريطة الإلكترونية المعروضة على الانتهاء، كما يمكن توصيل الإنذارات الصوتية والمرئية الصادرة من جهاز عرض الخرائط الإلكترونية مع شبكة الإنذار العامة بالسفينة حتى لا يمكن تجاهل الخطر.

ثانياً: تزويد وتجديد معلومات الخرائط الإلكترونية

أ- تزود الخرائط الإلكترونية بوسيلة تمكنها من الحصول على أحدث المعلومات والتجديدات والتصحيحات التي طرأت على المنطقة التي تشملها الخريطة.

ب- يجب أن تكون البيانات مناسبة وتتوافق مع متطلبات معاهدة سلامة الأرواح كما يجب أن تكون بالخرائط وسيلة مناسبة لتعديل أو تغيير بياناتها أو المعلومات المخزنة بها.

جـ- يجب أن تتوافر وسيلة لإضافة التجديدات إما مباشرة إلى الخريطة الإلكترونية أو إلى قاعدة البيانات الخاصة بها.

د- يجب أن تكون الخرائط الإلكترونية قادرة على استقبال المعلومات الجديدة بطريقة أتوماتيكية دون أن تتداخل هذه المعلومات مع البيانات المعروضة وقت الاستخدام وأن يكون الملاح قادراً وبطريقة سهلة على حذف وتعديل وتغيير البيانات القديمة بتلك التي ترد إلى مجمع الخريطة الإلكترونية وبالطبع يجب أن يكون هناك ذاكرة لحفظ تاريخ ووقت إدخال هذه البيانات.

ثالثاً: مقياس الرسم

فيما يختص بمقياس الرسم فإن الخرائط الإلكترونية يجب أن تكون قادرة على تعديل مقياس الرسم وفقاً لمستوى المقاييس المعمول بها في الخرائط الورقية كما يمكن تكبير نقطة معينة (Zooming) مع بيان معلومات أكثر وأوضح من تلك التي في المقياس الأصغر. غير أنه يجب أن تتوافر في الخرائط الإلكترونية وسيلة للإنذار أو التحذير إذا كانت المعلومات الموضحة على شاشة العرض أكبر من مقياس الرسم المختار. كما يجب أن يكون الرمز الدال على السفينة مناسباً في الحجم بحيث لا يغطي أو يحجب بيانات ومعلومات هامة على الخريطة.

رابعاً: تكامل الخريطة الإلكترونية مع الأجهزة الملاحية الأخرى

يمكن إضافة المعلومات المستخرجة من جهاز الرادار أو أي من الأجهزة الملاحية الأخرى سواء أجهزة التوقيع مثل الأقمار الصناعية أو أجهزة المتابعة مثل الأربا إلى شاشة الخريطة الإلكترونية ويجب أن يكون في الإمكان التمييز بين البيانات الموجودة أصلاً في الخريطة الإلكترونية وبين البيانات والمعلومات المضافة عن طريق أجهزة ملاحية إضافية.

وفي هذا الموضوع يجب على كل من الخريطة الإلكترونية والأجهزة الملاحية المضافة أن يكونوا عاملين على أساس واحد ومقياس رسم متطابق، وإذا كان مقياس الرسم والبيانات ليست متطابقة فإنه يجب على الخريطة الإلكترونية أن تقوم بتحذير الملاح من وجود هذا الاختلاف في أساس التوقيع أو موقع إسناد (Common Reference).

خامساً: تكامل الخريطة مع الرادار

أ- يمكن تمثيل بيانات الرادار من حيث صورة وشكل المنطقة المحيطة والأهداف المرصودة إلى شاشة الخريطة الإلكترونية كما يمكن أيضاً نقل بيانات وصورة الأربا إلى شاشة الخريطة الإلكترونية.

ب- عند إضافة صورة الرادار إلى شاشة الخريطة الإلكترونية يجب أن يكون كل من الصورتين المشتقة من بيانات الخريطة الإلكترونية ومن الرادار بنفس مقياس الرسم ونفس الاتجاه (مقدم السفينة لأعلى أو الشمال لأعلى (Ships-Head-up or North-Head-up).

جـ- يجب أن تتطابق صورة الرادار على المواقع التي يحصل عليها الملاح من أجهزة تحديد الموقع الأخرى، كما يجب أن يكون في الإمكان تعديل وضبط مكان السفينة يدوياً حتى تتطابق صورة الرادار على شاشة الخريطة الإلكترونية وإضافة صورة الرادار على شاشة الخريطة بسهولة ويجب عند الضرورة الفصل بين الرادار والخريطة بحركة واحدة وسهلة.

سادساً: الألوان والعلامات والرموز Colours and Symbols

فيما يختص بالرموز والألوان فقد وضعت المنظمة الدولية للمسح الهيدروجرافي (IHO) قائمة بالرموز التي يجب على الشركات المنتجة للخرائط الإلكترونية استخدامها كما وضعت أيضاً قائمة

بالألوان المختارة، وفيما يختص بالرموز فيجب عند إضافتها أو إيضاحها على شاشة الخريطة الإلكترونية أن يكون حجمها مناسباً لمقياس الرسم الذى توضح به الخريطة كما حددته المنظمة الدولية للمسح الهيدروجرافى، وللملاح الحرية فى اختيار الرسم أو الرمز الذى يمثل مكان السفينة وإذا كان رمزاً Symbol يجب أن يمثل بمقياس رسم مناسب لشكل وحجم وطول السفينة.

سابعاً: تخطيط المسار وتسجيل الرصد Route Planning

يجب أن تتوافر الشروط التالية فى أجهزة عرض الخرائط لأغراض التخطيط الملاحى وتخطيط المسار وتسجيل البيانات:

أ- إجراء عمليات التخطيط والمراقبة بطريقة سهلة وأكيدة.

ب- أن يكون من الممكن إجراء عمليات التخطيط فى القطاعات المستقيمة والمنحنية.

جـ- يمكن إضافة نقاط محورية Way Points على المسار أو إلغائها أو تغيير موقعها أو تعديل تسلسلها.

د- أن يكون بالإمكان تخطيط مسار بديل مع تميزه عن المسار الأصلى.

هـ- يجب عند مراقبة المسارات أن يظهر المسار المختار وموقع السفينة عندما يغطى العرض هذه المنطقة.

و- يجب أن تكون أجهزة العرض قادرة على التسجيل واسترجاع بعض المعلومات لتصحيح المسار والتأكد من صحة قاعدة البيانات المستخدمة خلال الـ ١٢ ساعة الماضية على التسجيل.

ز- يجب أن يكون بالإمكان حفظ البيانات السابقة للرحلة بدون تغيير المعلومات المسجلة عليها.

١٠-٤ نظام التعرف الآلي Automatic Identification System (AIS)

نظام التعرف الآلي للسفن هو نظام يجمع كل من السفن في منطقة معينة وبين مراكز خدمة المرور البحري (VTS) التي تغطي تلك المنطقة، ومن خلال النظام يمكن لمراكز الخدمة التعرف آلياً على بيانات السفن وشكلها وحمولتها ووجهتها وخط سيرها وسرعتها بصفة مستمرة. وقد أثبت هذا النظام فائدته العظيمة للمناطق التي تتميز بحركة وكثافة مرور عالية لسفن متعددة الحمولات والأحجام والسرعات سواء كانت تعمل وفقاً لجدول زمني أو تدخل وتخرج من منطقة إشراف (VTS) بصورة عشوائية، كما يمكن ربط هذا النظام ليس فقط مع السفن ولكن أيضاً مع جميع العائمات البحرية والأهداف الحيوية على الساحل أو في مناطق الاقتراب من الموانئ مثل الحطام أو منصات البترول.

ويتكون نظام التعرف الآلي من وحدة إرسال تثبت على السفن المشتركة في النظام (Transponder)، تعمل هذه الوحدة على الترددات العالية (VHF) من النافذة البحرية. هذه الوحدة قادرة على بث بيانات التعريف بالسفينة وتشتمل على إحداثيات الموقع المستخرجة من نظام الأقمار الصناعية (GPS) وخط السير وسرعة السفينة ثم أبعاد السفينة مثل الطول والعرض والغاطس، وأيضاً يمكنها بث بيانات عن نوع السفينة ونوع وكمية البضاعة التي تحملها. هذه البيانات يتم بثها تلقائياً لتشغيلها كل من مراكز خدمة السفن الموجودة على الساحل وفي مداخل الموانئ والممرات البحرية أو السفن المحيطة التي تعمل على النظام وفي محيط انتشار الترددات العالية جداً (VHF).

ويمكن للنظام أن يتعامل مع أكثر من ٢٠٠٠ تقرير للبيانات في الدقيقة الواحدة في منطقة التغطية كما أنه بالإمكان تحديث المعلومات وبيانات السفينة (Update) مرة كل ثانيتين، ويتبع في ذلك منظم زمني دقيق ذو تقسيم فعال في إدارة حركة بث وتحديث البيانات.

وتعمل وحدات البث التلقائي بصفة مستمرة ولا تتأثر بالأحوال الجوية أو ظروف الرؤية؛ وبصرف النظر عن وجود السفن في منطقة معينة فإن إشاراتها سوف ترسل بصفة مستمرة كل ثانيتين وعندما يتم استقبالها بواسطة محطة (VTS) أو سفينة أخرى بالقرب منها فإنه يتم التعرف عليها ومعرفة بياناتها.

١٠-٥ نظام المعلومات الجغرافي GIS

نظام المعلومات الجغرافي هو نظام التصوير ونقل المعلومات الجغرافية الحقيقية وتسجيلها لاسترجاعها للعرض أو الدراسة المتكاملة مع البيانات التي تتعلق بمنطقة جغرافية محددة.

ويعتمد النظام على حاسبات قادرة على رصد وتخزين وتحليل واسترجاع البيانات والمعلومات بطريقة متجانسة مع خرائط إلكترونية دقيقة للمكان الجغرافي المراد توثيقه.

وللحصول على المعلومات الجغرافية تستخدم مصادر متعددة مثل خرائط الطرق والخرائط الجغرافية والصور المسجلة وتسجيلات فيديو أو شرائط سينمائية، وعندما يتم تجميع هذه البيانات يمكن فصل بياناتها على شفافيات أو طبقات (Layers) كل منها يغطي معلومات محددة وفقاً لاحتياجات المستخدم (User)، ولأن البيانات الجغرافية تحتاج إلى تحديد دقيق للموقع الذي يتم وضعه أو تحديد بياناته، فإن نظام المعلومات الجغرافي (GIS) يعتمد في ذلك على منظومة أقمار صناعية لتحديد الموقع؛ ويستخدم حالياً نظام جي.بي.أس في رصد وتسجيل بيانات الموقع في قاعدة بيانات تفصيلية Data Base يمكن استرجاعها من منظور مختلف أو زوايا رصد متعددة.

المــــراجع

أولاً: المراجع العربية

١- محمد يوسف طه ومصطفى عبد العزيز، الملاحة الساحلية، منشأة المعارف بالإسكندرية ١٩٩١.

٢- محمد سعيد بلبع، التعريف بالنظام العالمى وتحديد الموقع باستخدام الأقمار الصناعية، مجلة مركز البحوث والاستشارات البحرية ١٩٩٠.

٣- محمد عبده عباسى، منظومة تحديد الموقع العالمية، مجلة الجمعية العربية للملاحة ١٩٩٥.

٤- محمد سعيد بلبع (٢٠٠١)، النظام الأوروبى للملاحة بالأقمار الصناعية جاليليو Galilio، مجلة الجمعية العربية للملاحة العدد ١٦ ص ص. ١-١٠.

٥- رفعت محمد رشاد (١٩٩٦)، الملاحة الإلكترونية، منشأة المعارف.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1- ADMIRALITY MANUAL, Hydrographic Surveying, Vol. Two.

2- ADMIRALITY MANUAL, Navigation, Vol. One, HMOB. UK.

3- ASHKENAZI, V., 1996. "Principle of GPS and Observables" Lecture Noted, IESSG, University of Nottingham.

4- DAVID WELLS, Guide to GPS Positionning. Canadian GPS Association.

5- HOFMANN- WELLENHOF B. LICHTENEGGER H., COLLINS J. 1993 "GPS Theory and Practice".

6- INGHAM A.E., Hydrographic for Surveying and Engineering.

7- LAURILA, SIMO H., Electronic Surveying and Navigation, John Wiley & Sons.

8- L.TETLEY, D. CALCUTT, Electronic Aids to Navigation, Edward Arnold.

9- REFAAR RASHAD, Landfall to the Egyptian Coasts & Navigational Aids. Journal of the Arab Maritime Transport Academy Vol. 5 No 9.

10- SONNENBERG, Radar and Electronic Navigation.

11- STEIN WL, (1986), NAVSTAR Global Positional System- Status and Plans.

12- Trimble Navigation, 1992. GPS Surveyors Field Guide "A Field Guidebook for Dynamic Surveying".

13- Trimble Navigation, 1991. GPS Surveyors Field Guide "A Field Guidebook for Static Surveying".

14- WALSH, D.M.A 1994 "Kinematic GPS Ambiguity Resolution, Ph.D. Thesis, IESSG, University of Nottingham.

قائمة المختصرات

AIS	Automatic Identification System
AIS	Automatic Information System
AS	Anti Spoofing
C/A	Clear Acquisition
CAS	Control Access Service
CPA	Closest Point of Approach
DGPS	Differential Global Positioning System
DOP	Dilution of Precession
ECDIS	Electronic Charts Display Information System
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlays Services
EPIRB	Electronic Positioning Indicator Radio Beacon
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRI	Group Repetition Interval
HEO	High Earth Orbit
IC	Integrated Circuits
ILS	Instrument Landing System
INMARSAT	International Maritime Satellite
INS	Initial Navigation System
ITS	Intelligent Transport System
LAD	Local Area Differential GPS
LEO	Low Earth Orbit
LOP	Line of Position
MCS	Master Control Station
MEO	Medium Earth Orbit
OCS	Operational Control Segment
PPS	Precise Positioning Service
SA	Selective Availability
SLR	Satellite Laser Ranging
SPS	Standard Positioning Service
TD	Time Difference
td	time delay
VHF	Very High Frequency
WAAS	Wide Area Augmentation System
WAD	Wide Area DGPS

رقم الإيداع

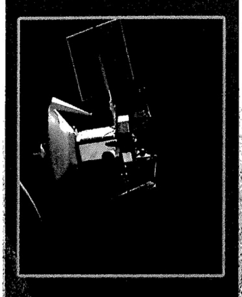
٩٦/٣٣٤٩

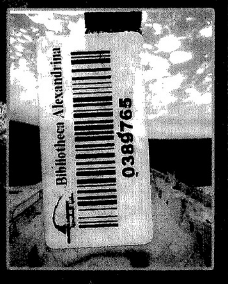
I. S. B. N
977 – 03 – 0218 – X

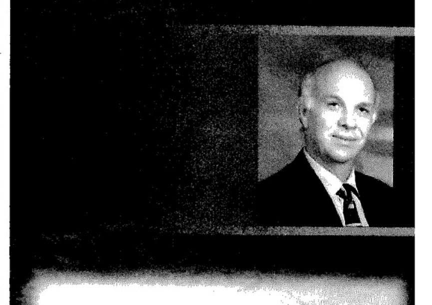
٦٢٧/٣٥











المؤلف

الدكتور الريان / رفعت رشاد ، أستاذ الملاحة الإلكترونية بالأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحرى ورئيس قسم الدراسات العليا البحرية بها والأستاذ المشارك بكلية علوم البحار بجامعة الملك عبد العزيز بجدة سابقاً .

تخرج المؤلف من الكلية البحرية التجارية عام ١٩٦٣ وعمل ملاحاً بالسفن التجارية وحصل على شهادة ربان أعالى البحار عام ١٩٦٩ ثم عمل بالأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحرى منذ عام ١٩٧٣ .

حصل على درجة البكالوريوس فى التكنولوجيا البحرية من جامعة ويلز بإنجلترا عام ١٩٧٦ ثم الماجستير عام ١٩٧٨ والدكتوراه عام ١٩٨٣ من نفس الجامعة .

عمل خبيراً لدى المنظمة IMO البحرية ومديراً لتنسيق التعليم ورئيساً لقسم الدراسات العليا البحرية بالأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا والنقل البحرى ، وهو أحد مؤسسى الجمعية العربية للملاحة ورئيساً لها منذ عام ٢٠٠١ وزميل [illegible]جمعية الملكية البريطانية للملاحة بلندن وعضو لعدد من الج[illegible]ات العلمية والثقافية والاجتماعية .

وال[illegible] يتقدم لقرائه هذه الطبعة من كتاب الأقمار [illegible]لاحة الإلكترونية متمنياً لهم المزيد من النجاح [illegible] .

منشأة الشنهابى للطباعة و النشر

الإسكندرية ت : ٥٧٤٨٦١٨